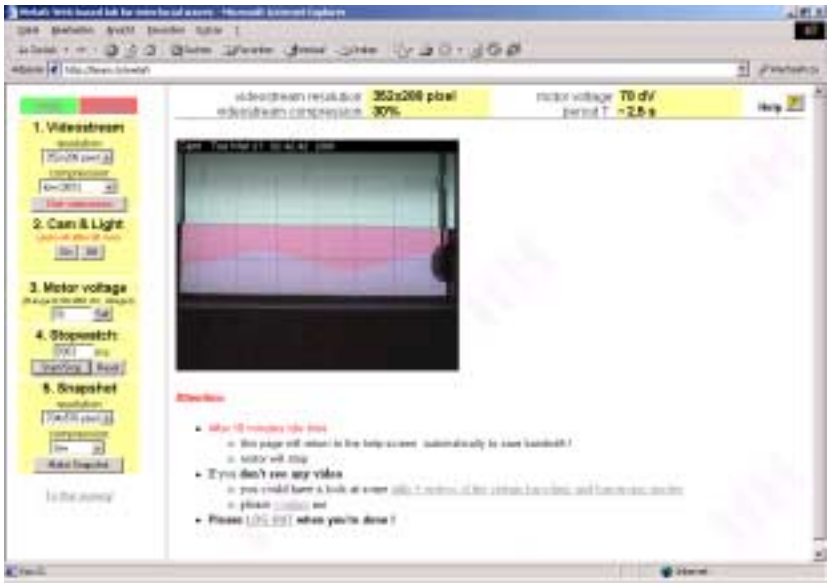
Diplomarbeit

Welafi

Ein web-basiertes Übungslabor für Grenzflächenwellen

http://beam.to/welafi



von

Daniel Schoppmann

am

Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe

Karlsruhe, April 2001

Man kann jede Art von menschlichem Wissen
mit der neuen Technik lehren

Thomas Alva Edison über den Film, 1913

Inhaltsverzeichnis

1 EINLEITUNG 1

2 GRUNDLAGEN 4

2.1 Web-basierter Laborversuch 4

2.1.1 Realer und virtueller Laborversuch 4

2.1.2 Voraussetzungen für ein reales Weblabor 6

2.1.3 Webtechnologien 8

2.1.3.1 Dynamische Webseiten 8

2.1.3.2 Steuerungs- und Messsoftware 11

2.1.3.3 Video Streaming 11

2.2 Stehende Grenzflächenwellen 14

2.2.1 Grundbegriffe der Wellentheorie 14

2.2.2 Stehende Wellenmuster 16

2.2.3 Stehende Wellenmuster in Grenzflächen 17

2.2.4 Naturphänomen Seiche 21

***3 WELAFI* - EIN WEB-BASIERTER LABORVERSUCH 24**

3.1 Vorbemerkung 24

3.2 Definition des Laborversuchs 25

3.3 PC-basierte Steuerung mit LabVIEW 27

3.4 Webfunktionalitäten 28

3.4.1 Aufbau der Website 28

3.4.2 Fernsteuerung des Versuchsstands mit LabVIEW G Webserver 31

3.4.3 Videostreaming 32

3.4.4 Active Server Pages 35

3.4.4.1 Allgemeines 35

3.4.4.2 Zugang zum Labor 36

3.4.4.3 Die Laborfunktionalitäten 38

4 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG 43

4.1 Ermittlung der Periode 43

4.2 Erste Erkenntnisse aus der Versuchsdurchführung 43

4.3 Szenario für einen studentischen Laborversuch 47

4.4 Standbilder der verschiedenen Moden 50

5 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK 53

LITERATURVERZEICHNIS 56

ANHANG A MATERIAL UND BEZUGSQUELLEN A-1

ANHANG B BOUNDED INTERFACIAL WAVES B-1

ANHANG C LABVIEW VIS C-1

C.1 netzteil.vi C-1

C.2 relais_1.vi C-5

C.3 motor.vi C-7

C.4 strom.vi C-9

C.5 victrl.vi C-11

ANHANG D G WEB SERVER CGI PARAMETER D-1

ANHANG E ASP-QUELLCODE E-1

E.1 session_cookie_test_1.asp E-1

E.2 session_cookie_test_2.asp E-1

E.3 lab_active.asp E-2

E.4 select_frame.asp E-3

E.5 set_video_cookies.asp E-6

E.6 main_frame.asp E-6

E.7 select_drehzahl.asp E-9

E.8 drehzahl.asp E-9

E.9 snapshot_frame.asp E-10

E.10 drehzahl_timeout.asp E-11

E.11 unlock_frame.asp E-11

ANHANG F PRELAB HANDOUT FOR *WELAFI* F-1

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2-1: Steuerung / Überwachung eines Versuchsstands via Internet 6
Abb. 2-2: Augenblicksbild einer fortschreitenden Welle (LINDNER 1993) 15
Abb. 2-3: Mögliche vertikale Berandungen (nach JIRKA, 1999) 16
Abb. 2-4: oben und unten begrenztes, geschichtetes 2-Schicht-System (aus SOCOLOFSKY 2001) 18
Abb. 2-5: Barotrope Mode, symmetrische Schwingung aller Schichten (aus JIRKA 1999) 19
Abb. 2-6: Barokline Mode, antisymmetrische Schwingung benachbarter Schichten (aus JIRKA 1999) 20
Abb. 2-7: Erzeugung einer Seiche (aus JIRKA 1999) 22
Abb. 3-1: Versuchsaufbau : Web based lab for interfacial waves 24
Abb. 3-2: Becken mit den gefärbten Fluiden 25
Abb. 3-3: Skizze des Wellenerzeugungskörpers mit Abmessungen in [mm] 26
Abb. 3-4: Antriebsmechanismus 27
Abb. 3-5: Struktur der *Welafi*-Webseiten 29
Abb. 3-6: Hauptnavigationsleiste 30
Abb. 3-7: Definition der in den Ablaufdiagrammen verwendeten Sinnbilder auf Basis von DIN 66001 (1983) 35
Abb. 3-8: : Überprüfung auf Cookie-Annahme 36
Abb. 3-9: Eintritt ins aktive Labor 37
Abb. 3-10: Eingangsseite des aktiven Labors (im linken Frame die Steuerkonsole, rechts der zur variablen Anzeige dienende Hauptframe) 37
Abb. 3-11: Videostream-Setup 38
Abb. 3-12: Aufruf des Videostreams 39
Abb. 3-13: Auswahl der Motorspannung 40
Abb. 3-14: Logout-Vorgang 42
Abb. 4-1: Vergleich der theoretischen Perioden *mit* und *ohne* Flachwassernäherung mit den im Labor gemessenen Werten 45
Abb. 4-2: *Welafi*-Steuerkonsole mit Videodarstellung 48
Abb. 4-3: Standbild der ersten baroklinen Mode 50
Abb. 4-4: Standbild der zweiten baroklinen Mode 50
Abb. 4-5: Standbild der dritten baroklinen Mode 51
Abb. 4-6: Standbild der ersten barotropen Mode 51
Abb. 4-7: Standbild der zweiten barotropen Mode 52

1 Einleitung

Der Physiker Tim Berners-Lee, der am europäischen Kernforschungszentrum CERN in Genf arbeitete, wollte es den Wissenschaftlern des CERN ermöglichen, die Ergebnisse ihrer Arbeit auf einfache Weise miteinander auszutauschen. Dies sollte unabhängig vom jeweils verwendeten Computersystem und losgelöst von vielen verschiedenen Programmen möglich sein. So entwickelte er dafür im Jahr 1989 den ersten, noch textorientierten Browser, die Basisapplikation für das World Wide Web (WWW), und entwarf die dafür notwendige Seitenbeschreibungssprache HTML (Hypertext Markup Language). Das WWW entwickelte sich daraus zu einem der wichtigsten Internetdienste.

Seit den Anfängen des WWW zu Beginn der 90er Jahre sind nicht nur die weltweite Verbreitung, sondern auch die technischen Möglichkeiten und besonders die verfügbaren Bandbreiten im Internet drastisch angestiegen. Die im WWW verfügbaren Ressourcen stehen rund um die Uhr zur Verfügung. Zeit- und Ortsgrenzen verschwinden nahezu vollständig. Das WWW befindet sich zur Zeit vor einem weiteren wichtigen Schritt. Neben den gängigen Ressourcen, wie statischen Texten und Bildern, kann eine weitere ganz wichtige Ressource, das Video, in die Strukturen des WWW eingebunden werden. Dabei eröffnet besonders der Live-Videostream ganz neue Möglichkeiten. Die reale Welt außerhalb der Rechner hält direkten Einzug in die Strukturen des sonst so virtuellen WWW.

Während Berners-Lee damals den Grundstein für den unkomplizierten, weltweiten Informationsaustausch zwischen Universitäten und anderen Forschungseinrichtungen legte, so bietet sich der Wissenschaft heute mit den neuen Techniken des Internets die Möglichkeit, neben den digitalen Informationsressourcen auch materielle Ressourcen über das Internet zu teilen. Eine der notwendigen und logischen Fortentwicklungen des WWW liegt daher in der Verfügbarmachung der Ressource ’Laborversuche’.

Besonders in den Ingenieurwissenschaften spielt die Arbeit am Versuchsstand sowohl für den Wissenschaftler als auch für den Studenten eine wichtige Rolle. Speziell in der Lehre bietet sich die Möglichkeit, die komplexen theoretischen Zusammenhänge am realen Modellversuch auch durch ein interaktives Experimentieren zu ergründen und zu begreifen.

Allerdings ist die Anzahl der an einer Universität verfügbaren Versuchsstände begrenzt, und manch eine Bildungseinrichtung muss aus finanziellen Gründen sogar komplett auf ein Übungslaboratorium verzichten.

Im Rahmen dieser Diplomarbeit soll deshalb gezeigt werden, wie mit Hilfe der heute einsetzbaren Webtechnologien die Möglichkeit besteht, einen realen Laborversuch über das Internet weltweit jedermann zu jederzeit zugänglich zu machen. Das in der vorliegenden Arbeit entwi-

ckelte *web based lab for interfacial waves* - kurz *welafi* - befasst sich mit dem Phänomen stehender Wellenmuster in geschichteten Strömungen.

Zunächst werden die Voraussetzungen und Grundzüge eines web-basierten Labors und die zum Einsatz kommenden Hard- und Softwaretechnologien erläutert. So werden die verschiedenen Ansätze des Videostreamings, das zur visuellen Überwachung der Vorgänge am Versuchsstand mit Hilfe einer Videokamera dient, vorgestellt. Weiterhin werden die Vorzüge und die Notwendigkeit einer dynamischen Webseitenentwicklung und die daran gekoppelten Verfahren zum Einbinden von Steuerungs- und Messgeräten in eine web-basierte Bedienungsoberfläche beschrieben.
Ebenso wird im Grundlagenkapitel aber auch die theoretische Basis zum Verständnis der hydromechanischen Materie vermittelt. Von den Grundbegriffen der Wellentheorie über die Entstehung von stehenden Wellen werden die Gesetzmäßigkeiten für die Ausbreitung von Grenzflächenwellen in geschichteten Fluidsystemen hergeleitet und anhand eines Naturphänomens, der Seiche, illustriert.
Die Vorstellung des im Zuge dieser Arbeit entwickelten web-basierten Versuchsstands *welafi* findet sich im mittleren Teil des vorliegenden Textes. Zunächst erfolgt eine kurze Einführung in den Aufbau des realen Versuchsstands mit der zur Automatisierung dienenden Technik und der zur Bedienung notwendigen Steuerungs- und Messsoftware LabView. Daraufhin werden alle Webfunktionalitäten erläutert, wie z.B. der prinzipielle Aufbau und die Struktur der entwickelten Website, sowie die für den Videostream verwendete Technik der Firma Axis. Ein besonderer Schwerpunkt liegt darüber hinaus auf den Active Server Pages, einer Webtechnologie zum Entwickeln dynamischer Webinhalte. Es wird aufgezeigt, welche Vorteile ihr Einsatz für die Gestaltung interaktiver Web-Frontends bringt, und wie diese innerhalb von *welafi* genutzt werden, um die statischen Grenzen von reinem HTML-Code zu durchbrechen.
Im letzten Teil werden die Vorgehensweisen für eine Versuchsdurchführung vorgestellt, wird über die dabei gemachten Erkenntnisse berichtet und ein Szenario einer studentischen Übung im web-basierten Labor geschildert.
Das mit *welafi* präsentierte web-basierte Labor eines realen Versuchsstands ist nach Recherche des Autors das erste seiner Art im Bereich der Hydromechanik. Auch MÖCKE (2001) berichtet, dass sich viele Vorlesungen bereits per Internet vermitteln lassen, dass die Studenten jedoch die für die Ingenieurausbildung wichtigen Laborexperimente noch vergebens suchen.

Die bereits initiierte Nutzung von *welafi* im Rahmen der Laborübungen für die Studenten der Umweltwissenschaften am renommierten MIT in Boston, USA, zeigen deutlich das vorhandene Interesse an solchen Projekten.

2 Grundlagen

2.1 Web-basierter Laborversuch

Für die im Rahmen dieser Arbeit erwähnten Begriffe wie *virtuelles Labor*, *cyberlab* oder eben auch ***web-basierter Laborversuch*** soll folgendes definiert werden:

- Es handelt sich ausschließlich um Anwendungen, die unter Zuhilfenahme eines Webbrowsers über das Internet zugänglich gemacht werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass der eingesetzte Webbrowser heute gängige Webtechnologien wie Java, JavaScript, frames, cookies, etc. versteht. Die entscheidenden, damit verbundenen Vorteile sind: jederzeit und weltweit verfügbare Applikationen, die unabhängig von der verwendeten Computerplattform einsetzbar sind.
- Vergleichbare Lösungen z.B. auf Basis von Multimedia-CD-Roms, spezieller Software oder Internet-Applikationen, welche auf die Verwendung von nicht-gängigen Plug-Ins angewiesen sind, sind hier davon ausgenommen.

2.1.1 Realer und virtueller Laborversuch

Bei dem Begriff 'web-basierter Laborversuch' beschreibt *web-basiert* lediglich den Zugangsweg zum Labor, der mittels eines Webbrowsers erfolgt. Es wird keine Aussage darüber gemacht, ob der Laborversuch bzw. das Experiment real existiert oder nur virtuell vorhanden ist. Daher gibt es zwei Ansätze eines web-basierten Labors: Zum einen den Ansatz mit einem real existierendem Versuchsstand und zum anderen einen rein virtuellen Ansatz.
Bei der ersten Variante wird der aktive Zugriff auf einen real existierenden Versuchsstand via Webbbrowser ermöglicht. Beobachtungen und Messungen erfolgen am realen Objekt. Zusätzlich wird ein Live-Bild vom Versuchsstand über das Internet übertragen.
Bei dem virtuellen Ansatz hingegen handelt es sich um eine reine Softwarelösung. Jegliche Rückgabewerte, ob Bild oder Zahl, basieren auf analytischen oder nummerischen Lösungen. Als Beispiele für solche interaktiven virtuellen Experimente nennt LOVISCACH (2001) gratis im Web zu findende, mit Macromedia Flash erstellte Flugexperimente, mit Java in 3D abgebildete Moleküle oder hörbar vorgeführte Fourier-Synthese.
Bei näherer Betrachtung der möglichen Anwendungsfälle für webbasierte Laboratorien im Bereich der Hydromechanik, aber auch in anderen naturwissenschaftlichen Grundlagenfächern werden schnell die besonderen Anforderungen in diesem Bereich der Lehre und Wissenschaft deutlich. Dabei muss es sich nicht zwangsläufig um einen Lehrversuch handeln, denn auch ein nutzbringender Einsatz in der Forschung ist denkbar. Am Beispiel eines Labo-

ratoriums, welches der Ausbildung von Studenten dient, zeigen sich jedoch klar die Vorteile eines realen Laborversuchs.

Zum einen ist bei der Ausbildung zum Wasserbauingenieur der direkte Kontakt mit dem Medium Wasser für das Verständnis der komplexen physikalischen Gesetzmäßigkeiten von enormer Bedeutung. Dabei ist es besonders wichtig, dass der Student interaktiv auf das jeweils untersuchte hydraulische System einwirken kann, um so spielerisch lernen zu können. Die Betrachtung eines Lehrvideos schult zwar auch sein Gefühl für das Verhalten von Fluiden, jedoch ist dieser Lernprozess relativ passiv, da der Student keinerlei Einfluss auf das System nehmen kann. Speziell die Universitäten wollen dem Studenten darüber hinaus, das Handwerkszeug für ein korrektes wissenschaftliches Arbeiten vermitteln, was auch die Durchführung und Auswertung von realen Laborversuchen beinhaltet.
Zum anderen können bis heute nur wenige Strömungsvorgänge exakt nummerisch in Echtzeit abgebildet werden. Dies ist auch der Grund, warum man auf reale Modellversuche angewiesen ist.
Die mit einer nummerischen Lösung verbundene Abstraktion kann ein reales Laborexperiment mit den zahlreichen Einflussgrößen nicht ersetzen.

Kann jedoch auf die Anschauung und Messung an einem natürlichen Modell verzichtet werden oder soll sogar bewusst ein vereinfachtes nummerisches Modell zu Vermittlung von Lernstoff herangezogen werden, so zeigen sich die Vorteile eines rein virtuellen Labors gegenüber einem über das Internet bedienbaren real existierenden Laborversuchs.
So erübrigt sich insbesondere die Konzeption und der Aufbau eines realen Versuchsstands, welcher viel Zeit erfordert, oft ein hohen Anfall an Material und Betriebskosten bedeutet und nicht zuletzt auch Platz beansprucht. Ein virtueller Versuchsstand in Form eines Programms benötigt keinen Raum, abgesehen von dem Computer, auf dem er läuft. Es wird keinerlei Material verbraucht, und wenn er lauffähig ist, bedarf es lediglich der Administration des Computers.
Als Nachteile sind allerdings die Kenntnisse komplexer Programmiersprachen zu nennen. Der derzeitige Lehrplan des Bauingenieurstudiums sieht keine fundierte Ausbildung in einer höheren, objektorientierten Programmiersprache wie z.B. Java vor. Ein moderneren Lehrplan würde es auch einem Bauingenieurstudenten ermöglichen, ohne langes vorangegangenes Selbststudium in Eigeninitiative, in der kurzen, ihm für seine Diplomarbeit zur Verfügung stehenden Zeit von nur 2 Monaten, ein virtuelles Labor auf Basis eines Java-Applets zu program-

mieren. Auch das ist ein Grund, warum die bereits verfügbaren virtuellen Laboratorien im Internet eher im Feld der Physik, Mathematik und natürlich der Informatik existieren. Denn neben dem höheren Grad an Theorie in diesen Disziplinen, in denen generell weniger an realen Laborversuchen gearbeitet wird, ist die Programmierausbildung sehr viel besser. Es ist jedoch damit zu rechnen, dass sich dies aufgrund der neuen Anforderung am Arbeitsmarkt, aber auch wegen der ständigen Anwendung von moderner IT-Methoden in der Forschung, ändern wird und die Studienpläne für Ingenieurwissenschaften entsprechend angepasst werden.

2.1.2 Voraussetzungen für ein reales Weblabor

Heutige Laborversuche bringen mit der Fülle meist moderner Messtechnik die idealen Voraussetzungen mit, um den Versuchsstand aus der Ferne zu überwachen und zu steuern. Meist werden Programme wie LabVIEW oder VEE OneLab[1] auf einem Steuer- bzw. Messrechner eingesetzt, der über seine Schnittstellen oder Einsteckkarten mit den Steuer- und Messeinrichtungen des Versuchsstands verbunden ist und diesen kontrolliert **(siehe Kapitel 2.1.3.2)**.

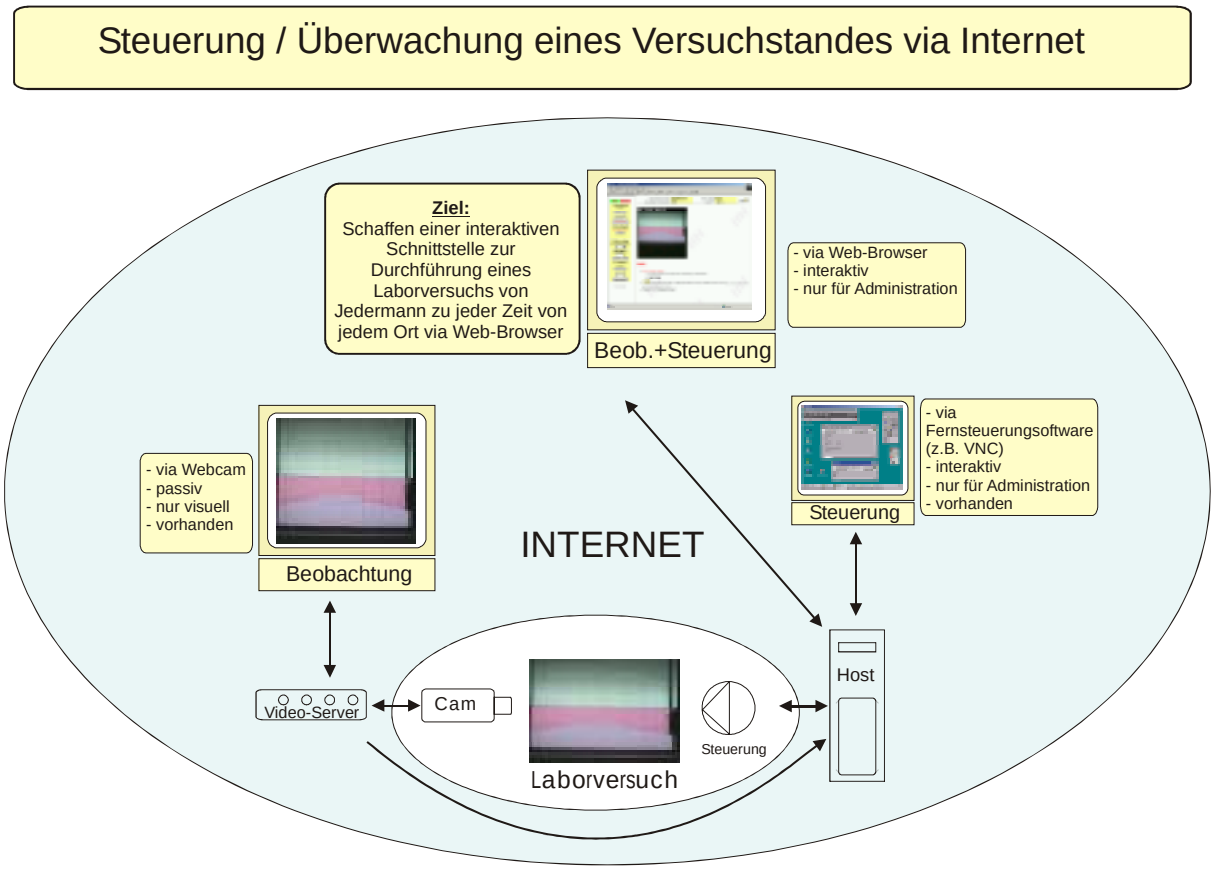


Abb. 2-1: Steuerung / Überwachung eines Versuchsstands via Internet

[1] http://www.get.agilent.com/gpinstruments/products/vee/support/

Die grundsätzliche Fragestellung lautet natürlich: Warum soll mein Versuchsstand über das Web zugänglich sein? Dabei muss man grundsätzlich unterscheiden zwischen einem passiven Zugang via Webcam zu Beobachtungszwecken, und einem direkten bzw. indirekten Zugriff auf den Steuerrechner. Abb. 2-1 verdeutlicht dies auf einfache Weise.
Die Webcam findet häufig Verwendung. Sie liefert lediglich ein visuellen Eindruck, die Implementierung ist verhältnismäßig einfach und ist auch mit keinerlei Risiken verbunden. Ein direkter Zugriff auf den Steuerrechner, d.h. zu allen seinen Funktionalitäten, ist schon aus Sicherheitsgründen lediglich zu Administrationszwecken sinnvoll, lässt sich aber bei Bedarf mit Hilfe spezieller Fernwartungssoftware (PCAnywhere, vnc, etc.) einfach realisieren. Das Ziel eines web-basierten Labors besteht darin, ein spezielles Frontend zu gestalten, welches alleine unter Verwendung eines gängigen Webbrowsers den Zugang zu einem Laborversuch ermöglicht und dabei nur ausgewählte Funktionen anbietet.
Ein interessanter Anwendungsgebiet liegt im Bereich der Lehre, und zwar in der Schaffung von Lehrversuchen, welche die bereits existierenden Versuche in den Übungslaboratorien der Universitäten weltweit ergänzen. Allerdings soll es sich dabei um Versuche handeln, die den Studenten jederzeit und überall zu Verfügung stehen. Dabei bekommen diese über einen Webbrowser einen sicheren Zugang zu den wichtigen Funktionalitäten des Laborversuchs.
Aus den Erfahrungen, die während dieser Arbeit gemacht wurden, kann ein Anforderungsprofil für solch einen Versuchsstand aufgestellt werden:

1. Der Versuchsaufbau sollte möglichst einfach gehalten werden, denn jede für den Betrieb wichtige Funktion muss automatisiert sein und somit von einem Rechner gesteuert werden. Die Kosten einer umfassenden Automatisierung sind nicht zu unterschätzen.
2. Die ständige Online-Verfügbarkeit des Laborversuchs erfordert einen energiesparenden Stand-by-Modus, der die Kosten gering hält
3. Ein reibungsloser Wechsel in den Normalbetrieb, das Anfahren des Versuchs muss ohne manuellen Eingriff möglich sein.
4. Um die Betriebssicherheit eines unbeaufsichtigten Versuchsstands zu gewährleisten, müssen u.a. zeitgesteuerte Abschaltmechanismen für die automatische Rückkehr in den Stand-by-Betrieb implementiert werden.
5. Bei der Auswahl und der Planung des Versuchs sollte besonders bei der Wahl der beweglichen Komponenten auf verschleißarme Technik gesetzt werden. Dies senkt die Betriebskosten und reduziert Ausfallzeiten.

6. Bei der Bereitstellung eines Videostreams vom Versuchsstand sind auch die z.Z. noch geringen Internetzugangsgeschwindigkeiten mancher Studenten zu berücksichtigen. Eventuell zu beobachtende Vorgänge am Versuchsstand sollten nicht zu schnell ablaufen. Allerdings ist anzunehmen, dass in ein bis zwei Jahren, aufgrund der zunehmenden Verbreitung verschiedenster Breitbandtechnologien (VGL. KOSSEL, 2000), eine flüssige Übertragung von Videodaten mit einer akzeptablen Auflösung und Kompression für jeden Studenten möglich sein wird.

2.1.3 Webtechnologien

2.1.3.1 Dynamische Webseiten

Der Webbrowser als Benutzerschnittstelle für beliebige Applikationen, die lediglich über den Webserver angesteuert werden, bietet die entscheidenden Vorteile der Plattformunabhängigkeit und der Verwendung einer dem Benutzer vertrauten Schnittstelle. Zur Schaffung einer Oberfläche für einen webbasierten Laborversuch reicht statischer HTML-Code als Beschreibungssprache für die Webseiten jedoch nicht mehr aus. Eine Beschreibung und einen Überblick über die verfügbaren dynamischen Ansätze gibt ZIERL (2001). Im Folgenden sind die wichtigsten Fakten zusammengefasst:

Die Programmierung von Web-Applikationen unterscheidet sich erheblich von der normalen Software-Entwicklung. Schuld daran ist das HyperText Transfer Protokoll (HTTP), das die Kommunikation zwischen dem Webbrowser (Client) und dem Webserver definiert. HTTP ist ein verbindungsloses (stateless) Protokoll. Das bedeutet z.B., dass man bei Web-Applikationen im Vergleich zu gewöhnlichen Applikationen kein direktes Feedback beim Server erzeugen kann wie beispielsweise beim Anwählen einer Select-Box. Außerdem kann der Server einen Client nicht wiedererkennen, wenn dieser wiederholt Daten anfordert oder sich durch die Website bewegt. Bei der Entwicklung von dynamischen Websites ist es daher entscheidend, dass die Applikationssprache Möglichkeiten bereithält, diese Schwierigkeiten zu umgehen.

Ältester und wichtigster Standard um das WWW flexibler bzw. dynamischer zu gestalten, ist CGI (Common Gateway Interface). CGI definiert einen Standard für die Kommunikation zwischen dem Webserver und einem externen Programm, das dynamische Inhalte generiert. Die vom Webserver an den Webclient übergebenen statischen HTML-Seiten müssen also nicht bereits auf dem Server bereitliegen, sondern können mit Hilfe einer dynamischen Applikation wie CGI, sozusagen „just in time“ erzeugt werden. Wesentliche Vorteile von CGI-Programmen sind, dass sie in jeder beliebigen Programmier- oder Scriptsprache geschrieben

werden können und, im Gegensatz zu höheren Programmiersprachen, nicht kompiliert werden müssen. Besonders beliebt sind die plattformübergreifenden Skriptsprachen TCL und Perl, neben Python und diverser Unix-Shells. Da CGI-Programme für jeden einzelnen Aufruf geöffnet und geschlossen werden müssen, kann es allerdings bei gehäuften Zugriffen schnell zu Performanceproblemen auf dem Webserver kommen.
Einen fortschrittlicheren Ansatz verfolgen Webserver-Erweiterungen. Dabei handelt es sich um Programme, die auf dem API (Application Programming Interface) des jeweiligen Webservers basieren und ressourcensparend im gleichen Prozessadressraum wie der Webserver laufen. Allerdings müssen sie in einer höheren Programmiersprache, meist C oder C++, geschrieben werden, was die Entwicklung und das Austesten der Programme langwieriger und aufwendiger als bei einfachen Skriptsprachen macht.
Eine inzwischen weit verbreitete und akzeptierte Lösung, die sowohl gute Performance, schnelle Entwicklungszeit und darüber hinaus eine saubere Trennung von Design und Programmlogik ermöglicht, sind die Web-Applikationssprachen. Die bekanntesten Vertreter sind ASP (Active Server Pages) von Microsoft und PHP[2] (PHP Hypertext Preprocessor), ein Open-Source-Projekt. Bei beiden Lösungen handelt es sich um Webserver-Erweiterungen, die HTML-Code mit Hilfe von in der Webseite eingebetteten Skript-Codes erzeugen. Die Skript-Befehle stehen dabei mit speziellen Tags gekennzeichnet direkt in den HTML-Seiten. Dadurch ist der Ausgangspunkt bei der Entwicklung wiederum die Webseite und nicht ein CGI-Programm, das den HTML-Code mit Befehlen herausschreibt. Als ASP-Skriptsprachen können VBScript oder JavaScript verwendet werden. Für den Einstieg in die Entwicklung von Active Server Pages wird WELTNER (1999) empfohlen.
Auf die noch einen Schritt weiter gehenden Applications-Server wird hier nicht eingegangen.

Die klassischen 3 Anwendungsfälle für dynamische Seitengenerierung sind Formularauswertung, Session-Management und Datenbankanbindung. Auf Grund des verbindungslosen HTTP-Protokolls hat z.B. das Session-Mangement die besonders wichtige Aufgabe, einen Besucher wiederzuerkennen. Eine hierfür gängige Technik ist der Einsatz von Cookies[3]. Cookies sind kleine, mit Benutzerinformation gefüllte Textdateien, welche dem Benutzer verborgen, client-seitig vom Webserver gespeichert werden. Beim nächsten Seitenaufruf fordert derselbe Server, und nur dieser ist dazu berechtigt, das Cookie wieder an und kann so einen Benutzer wiedererkennen. Er kennt die vom Websurfer evtl. bereits gemachten Angaben zur

[2] http://www.php.net/

[3] http://www.cookiecentral.com/

Person, Konfigurationswünschen oder technischen Details und dieser muss sie daher nicht erneut eingeben. Leider haben die unlauteren Methoden von www.doubleclick.net, einer Firma, die Online-Werbeflächen schaltet, das Vertrauen in Cookies bei den meisten Internetanwendern zerstört, so dass Cookies immer noch mit dem Vorurteil zu kämpfen haben, die Privatsphäre des Surfers auszuspionieren. Unterschieden werden muss dabei allerdings zwischen permanenten und nicht-permanenten Cookies. Permanente Cookies werden auf der Festplatte des Benutzers gespeichert und verbleiben dort bis ein vom Sender spezifiziertes Ablaufdatum erreicht ist. Nicht-permanente Cookies hingegen sind lediglich im Arbeitsspeicher (RAM) des Benutzers gespeichert und stehen so nur während des Besuchs auf der Webseite zur Verfügung. Dies reicht aber aus, um sie sinnvoll während des Besuchs im webbasierten Labor zu verwenden, beispielsweise zur Speicherung benutzerspezifischer Einstellungen wie z.B. der verwendeten Bildschirmauflösung oder der zu Beginn des Versuchs übergebenen Startparameter. Somit sind sie für den weiteren Verlauf der Sitzung abrufbar.

Zusammenfassend bieten die Web-Applikationssprachen in Verbindung mit HTML eine praktische Möglichkeit, mit relativ einfachen Mitteln und innerhalb von kurzen Entwicklungszeiten, brauchbare Webanwendungen zu entwickeln. Es ist damit zu rechnen, dass in Zukunft bei der Entwicklung von dynamischen Webseiten zunehmend XML (Extensible Markup Language) statt HTML Verwendung finden wird. XML, so schreibt das M+T COMPUTERLEXIKON (2001), erweitert die Möglichkeiten von HTML dahingehend, dass man sich eine eigene Sprache für die Erstellung der Inhalte definieren kann und sich nicht auf eine vorgegebene Menge von Sprachelementen beschränken muss, wie das bei HTML der Fall ist. Ein weiterer Vorteil ist die strikte Trennung zwischen Struktur und Layout der Dokumente. Die Struktur wird über die mit XML definierte Sprache erstellt und das Layout z.B. mit CSS (Cascading Style Sheets) festgelegt.

Einen anderen Ansatz, um komplexe Anwendungen zu entwickeln, die via Webbrowser verfügbar sind, verfolgt die plattformunabhängige Programmiersprache Java. Da es sich bei Java, im Gegensatz zu den oben verwendeten Scriptsprachen, um eine echte objektorientierte Sprache handelt, stehen den weitaus größeren und flexibleren Möglichkeiten eine wesentlich längere Einarbeitungszeit gegenüber. Besonders bei den Entwicklern von virtuellen Labors erfreut sich Java großer Beliebtheit. Da es sich bei Java um einen längst etablierten Standard handelt, bringen alle heute gängigen Browser auch die Fähigkeit mit, die speziell für den Gebrauch im Internet entwickelten Java-Applets auszuführen.

2.1.3.2 Steuerungs- und Messsoftware

Die Software LabVIEW von National Instruments[4] bietet mit seiner graphischen objektorientierten Programmiersprache G eine ideale Umgebung, um einen Versuchsstand zu steuern, Messdaten zu erheben und diese darzustellen. Mit der Erstellung von sogenannten virtuellen Instrumenten (VIs) ist es möglich, jede beliebige elektronische Steuer- oder Messeinrichtung virtuell abzubilden und auch mit realen Instrumenten zu koppeln. Mit Hilfe des LabVIEW-Webservers kann man HTML-Dokumente erstellen und Frontpanel-Bilder dieser VIs im Web veröffentlichen. Es ist möglich, den Browser-Zugriff auf die veröffentlichten Frontpanels zu steuern und zu konfigurieren, welche VIs im Web sichtbar sind (NATIONAL INSTRUMENTS, 2000). Weit mehr Web-Funktionalität bietet ein spezielles Add-on, das Internet Developer Toolkit for G. Damit ist es u.a. möglich, eigene Common Gateway Interface (CGI) Programme in G zu schreiben, um sie zusammen mit dem LabVIEW HTTP-Server einzusetzen (NATIONAL INSTRUMENTS, 2001).

Vergleichbare Funktionen bietet die Software VEE OneLab von Agilent Technologies

2.1.3.3 Video Streaming

Soll ein realer Versuchsstand interaktiv ferngesteuert werden, so benötigt man natürlich ein Live-Videobild, um zu sehen, was geschieht. Dabei soll es sich nicht um Einzelbilder handeln wie man sie von zahlreichen Webcams her kennt, sondern es soll möglich sein, ein mehr oder minder flüssiges Videosignal guter Qualität via Internet zu übertragen. Die Live- bzw. Echtzeitübertragung von flüssigen Videodaten mit einer mit VHS vergleichbaren Qualität ist z.Z. noch nicht möglich. PUSCHER (2000) spricht von etwa 5 MB, die eine Sekunde Video in VHS-Qualität an Bandbreite beansprucht. Auch wenn hier auf die Tonspur verzichtet werden kann, so wird doch deutlich, dass bei den heute verfügbaren Internetbandbreiten eine leistungsfähig Kompressionstechnologie erforderlich ist. Gleichzeitig steigt die Anforderung an die übermittelte Bildrate mit der Ablaufgeschwindigkeit des am Versuchsstand zu beobachtenden Prozesses. Um Kameras mit dem Netz zu verbinden beschreibt SCHLEDE (2000) zwei grundlegende Techniken. Am verbreitetsten ist wohl die Methode, die Kamera direkt an einen PC oder eine Workstation anzuschließen, die wiederum mit dem Internet verbunden ist. Dazu bieten sich z.Z. die für den Privatanwendungsbereich angebotenen USB-Kameras[5] an. Sie werden über die USB-Schnittstelle direkt mit dem PC verbunden, der mittels Software die Komprimierung der Bilder und die Übertragung ins Netz über seine IP-Adresse übernimmt.

[4] http://www.ni.com/labview/

[5] USB = Universal Serial Bus

Da relativ preiswerte Hardware verwendet wird, ist die Bildqualität oft eher mäßig, und zur Erzeugung höherer Bildraten sind diese Kameras meist nicht in der Lage. Zudem ist man für den Betrieb zusätzlich auf einen PC mit einem stabil laufenden Betriebssystem angewiesen, welches bei Einsatz von Windows-Systemen nicht immer gewährleistet ist.

Eine professionellere und zudem einfacher zu handhabende Lösung stellen Netzwerkkameras dar, die als Stand-alone-Modell arbeiten. Sie werden über eine eigene IP-Adresse direkt an das Netzwerk angeschlossen und verfügen über spezielle Hardware zur schnellen Komprimierung des Bildmaterials, welches eine Beschleunigung der Bildübertragung ermöglicht. Weiterhin sind sie sehr einfach zu installieren, sind über eine Webschnittstelle einfach zu administrieren und laufen mit auf der Hardware integrierten, speziellen Betriebssystemen äußerst stabil. Sollten mehr Videoquellen auf einmal erfasst werden, so bietet sich der Einsatz von sogenannten Videoservern an. Sie arbeiten ähnlich wie die Netzwerkkameras, ermöglichen aber den Anschluss von mehreren Videoquellen gleichzeitig und können meist noch höhere Bildraten erzielen als reine Netzwerkkameras. Dabei genügt ein einfaches Videosignal (PAL oder NTSC), welches in der Regel über ein Koaxialkabel eingespeist wird. Ein namenhafter Anbieter von Netzwerkkameras und Videoserver ist z.B. die Firma Axis aus Schweden.

Eine weitere, dritte Methode, die hier nur kurz erwähnt werden soll, da sie wesentlich aufwendiger ist, ist der Einsatz sogenannter Framegrabber-Karten, welche in einem PC oder einer Workstation eingebaut werden und das Videosignal von herkömmlichen Videokameras bzw. Digitalkameras empfangen, wie bei den oben genannten Videoservern beschrieben. Während die Bildverarbeitung (hier die Komprimierung) also hardwareseitig erfolgt, wird die weitere Aufbereitung für die speziellen Anforderungen an das Videostreaming im Internet von einer speziellen Serversoftware erledigt. Für ein detaillierten Überblick über die gängigen Softwareprodukte von z.B. Real Networks (RealServer) oder Apple (Quicktime Streaming Server) wird LOVISCACH (2000) als weiterführende Lektüre empfohlen. Er erwähnt auch das für die Übertragung von Videodaten via Internet sehr viel effektivere UDP-Protokoll und die Unterschiede der verschiedenen Komprimierungsstandards.

Die Technologien für die Materialaufbereitung und deren Verbreitung über das Internet werden natürlich laufend verbessert. So beschreibt PUSCHER bereits im März 2000 MPEG4 als einen Meilenstein in Sachen Videokompression, der sich mit einer sehr guten Bildqualität hervorragend für Streaming eignet und damit zu den originären Netztechniken RealVideo und Quicktime aufschließt. Aber auch das kommende Internet-Protokoll IPv6 wurde für die Übermittlung von streaming media deutlich verbessert (Loviscach 2000).

Des Weiteren findet eine stetige Verbreitung von Breitbandanschlüssen bei ständig gleichzeitig wachsenden Netzkapazitäten statt und so bleibt abschließend zu bemerken, dass einem „bewegten Internet“ nicht mehr viel im Weg steht.

2.2 Stehende Grenzflächenwellen

Der im Rahmen dieser Arbeit erstellte web-basierte Laborversuch wurde aus dem Bereich der Schichtströmungen gewählt. In einem geschlossenen Behälter befinden sich zwei nicht mischbare Flüssigkeiten unterschiedlicher Dichte. Durch eine kontinuierliche Schwingungsanregung dieses Systems sollen verschiedene stehende Wellenmuster in Grenzflächen erzeugt werden. Die dafür notwendigen theoretischen Grundlagen werden in diesem Kapitel vermittelt.

2.2.1 Grundbegriffe der Wellentheorie

LINDNER (1993) beschreibt Schwingungen als

> ... solche Vorgänge, bei denen ein Massenpunkt oder einzelner starrer Körper periodische Bewegungen um ihre Ruhelage ausführen. [...] Ist der schwingende Körper mit einem anderen in geeigneter Weise verbunden (gekoppelt), [...] so wird dieser Körper vom ersten zur Schwingung angeregt. Die zwischen beiden vorhandene Kopplung bewirkt eine Übertragung des Bewegungszustandes. Bilden nun viele solcher schwingungsfähigen Gebilde ein zusammenhängendes System, so breitet sich die an einer Stelle eingeleitete Schwingung im ganzen System aus. Das äußere Erscheinungsbild eines solchen Vorgangs wird als Welle bezeichnet. [...] Da aber alle elastisch deformierbaren Körper aus einzelnen miteinander in Verbindung stehenden Teilchen bestehen, können derartige Wellen im Innern und an der Oberfläche von allen festen und flüssigen Medien und auch Gasen entstehen. [Lindner 1993, S.177 f]

Die einzelnen Teilchen nehmen, abgesehen von der periodischen Bewegung um ihre Ruhelagen, nicht selbst am Ausbreitungsvorgang teil. Nicht die Teilchen, sondern der zeitlich periodische Bewegungszustand pflanzt sich fort.

Wenn die einzelnen Teilchen quer zur Ausbreitungsrichtung schwingen, wird von Transversalwellen gesprochen. Zu den Transversalwellen gehören z.B. die Wellen des Lichts oder auch eine einfache Seilwelle, die in einem beidseitig fixierten Seil entsteht, wenn man an einem Ende eine periodische Schwingung durch eine Auf-und Abbewegung induziert.

In den Longitudinalwellen schwingen die Teilchen hingegen längs der Fortpflanzungsrichtung. Schalwellen in Gasen, festen Körpern und in Flüssigkeiten sind Longitudinalwellen.

Bei der Wasserwelle handelt es sich weder um eine Longitudinal- noch um eine reine Transversalwelle, da die einzelnen Wasserteilchen vertikale Ellipsen durchlaufen. Im Rahmen dieser Arbeit kann dies allerdings für die theoretische Betrachtung vernachlässigt werden.

Die mathematische Beschreibung einer Wellenform, die auf einer sinusförmigen harmonischen Schwingung basiert, ist durch eine ebensolche Funktion

$$y = a\sin\left[\frac{2\pi}{\lambda}(x-ct)\right] = a\sin\left[kx-\omega t\right] \tag{2.1}$$

möglich[6] (siehe Abb. 2-2). Die in Gl. (2.1) enthaltenen Größen sind wie folgt definiert. Die Wellenlänge λ entspricht dem Abstand zwischen zwei benachbarten Punkten auf der Welle mit derselben Auslenkung y, also z.B. dem Abstand zwischen zwei benachbarten Wellenbergen (siehe Abb. 2-2). Die Wellenzahl k ist definiert als

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \tag{2.2}$$

Die Frequenz f entspricht der Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Die Zeit, welche die Welle braucht, um eine Wellenlänge zurückzulegen, wird als Periode der Welle bezeichnet und entspricht dem Kehrwert ihrer Frequenz

$$T = \frac{1}{f} \tag{2.3}$$

Die Kreisfrequenz ω ist wie folgt definiert:

$$\omega = 2\pi f \tag{2.4}$$

Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle c entspricht dem Quotient von Kreisfrequenz und der Wellenzahl,

$$c = \frac{\omega}{k} \tag{2.5}$$

Ist der Zusammenhang zwischen ω und k linear, so spricht man von sogenannten nichtdispersiven Wellen. Schallwellen sind ein Beispiel für solche Wellen. Im gleichen Medium ist die Schallgeschwindigkeit demnach konstant unabhängig von den Eigenschaften der Welle.
Die Amplitude a oder auch y_{max} entspricht der maximalen Auslenkung eines Teilchens von der Ruhelage aus.

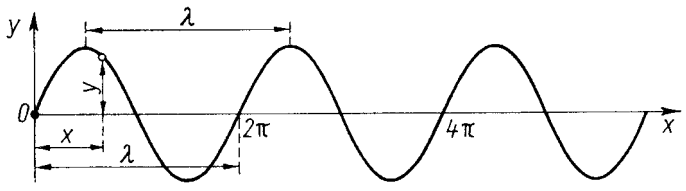


Abb. 2-2: Augenblicksbild einer fortschreitenden Welle (LINDNER 1993)

[6] Prinzipiell lässt sich jede Störung, also auch eine nicht sinusförmig verlaufende Schwingung, nach Fourier in ihre harmonischen Bestandteile (Grundschwingung und Oberschwingung) zerlegen.

2.2.2 Stehende Wellenmuster

Begrenzt man ein System, in dem sich eine Welle fortbewegt nun auf der linken und rechten Seite, so kommt ein neues wichtiges zu untersuchendes Wellenphänomen ins Spiel. Eine durch das System laufende Welle wird z.B. an der Wand zu 100% reflektiert und es entsteht neben der reflektierenden Welle ein Muster, welches sich aus diesen beiden entgegenlaufenden Wellen, nach dem Prinzip der Superposition, bildet. Der Betrachter sieht in der Tat nur noch dieses Muster einer Welle, sobald die erste fortschreitende Welle vollständig reflektiert worden ist. Da bei einer konstanten Erregerfrequenz des Wellengenerators auch die Wellen im System eine konstante Wellenlänge λ besitzen, kommt es bei gewissen Frequenzen zu einer kurzzeitigen exakten Überlagerung bzw. Deckung der beiden entgegengesetzt fortschreitenden Wellen. Das Resultat bezeichnet man als stehende Welle oder genauer gesagt als stehendes Muster von Wellen. In diesem Muster gibt es fixe Orte, an denen es zu einer ständigen Aufhebung beider Amplituden kommt. Diese Nullstellen werden als **Knoten** bezeichnet. Als **Antiknoten** hingegen werden solche fixe Stellen bezeichnet, an denen sich die Amplituden der beiden Wellen kurzzeitig zu der doppelten Amplitude addieren. Die zur Erzeugung von stehenden Wellen notwendige kurzeitige exakte Deckung ist nur möglich, wenn die fortschreitenden Wellen mit einem ganzzahligen Vielfachen ihrer halben Wellenlänge in den Behälter passen, in dem sie reflektieren. Die verschiedenen Möglichkeiten für diese sogenannten natürlichen Moden[7] werden mit Hilfe von Abb. 2-3 deutlich.

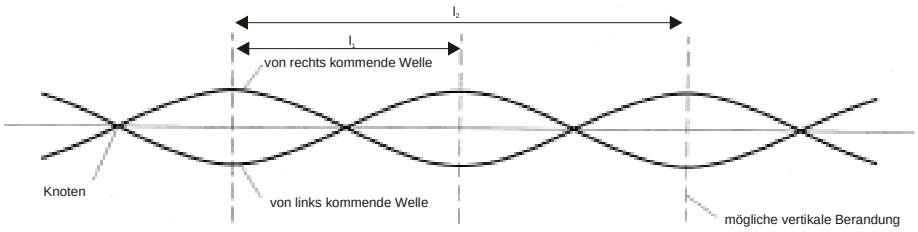


Abb. 2-3: Mögliche vertikale Berandungen (nach JIRKA, 1999)

Zur Erzeugung stehender Muster von Wellen in einem seitlich begrenzten System mit der Breite l, ergibt sich aus Betrachtung von Abb. 2-3 für die Wellenlänge λ,

$$\lambda = \frac{2l}{n} \quad ; \text{n=1,2,3} \tag{2.6}$$

wobei für n die Anzahl der gewünschten Knoten eingesetzt wird und somit der n.ten natürlichen Mode entspricht.

[7] die Eigenschwingungen oder Eigenwellen in schwingungsfähigen Systemen (BROCKHAUS 1999)

Setzt man (2.6) in (2.2) ein, so ergibt sich als Bedingung für stehende Wellen

$$k = \frac{\pi n}{l} \tag{2.7}$$

Durch (2.3) und (2.4) ergibt sich zunächst

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \tag{2.8}$$

und nach einsetzen der Bedingung für stehende Wellen (2.7) ergibt sich die erforderliche Periodendauer T_n für die verschiedenen Moden

$$T_n = \frac{2lk}{n\omega} \tag{2.9}$$

2.2.3 Stehende Wellenmuster in Grenzflächen

Nachdem die Grundbegriffe der Wellentheorie und der stehenden Wellen in den beiden vorigen Unterkapiteln erklärt wurden, handelt dieser Abschnitt von der Wellenausbreitung in geschichteten Flüssigkeiten. Genau wie in ungeschichteten Systemen können Wellen an der Oberfläche vorkommen. Die Besonderheit an geschichteten Fluiden ist die mögliche Existenz von Wellen entlang *Linien gleicher Dichte*[8]. Solche Wellen werden in kontinuierlich geschichteten Systemen **interne Wellen** genannt. Handelt es sich um ein diskret geschichtetes System, d.h. der Dichtegradient springt zwischen den Schichten und ist konstant innerhalb einer solchen sogenannten Sprungschicht, so kann man im Besonderen von **Grenzflächenwellen**[9] sprechen. Eine mathematische Betrachtung des Sonderfalls Grenzflächenwellen ist einfacher als die von internen Wellen und stellt dennoch ein gutes Modell für die Dichteschichtungen in vielen natürlichen Umgebungen wie Seen, Staubecken, Mündungsgebieten und Ozeanen dar.

Nach einer analytischen Betrachtung eines oben und unten begrenzten 2-Schicht-System (Abb. 2-4), wie sie in Anlage B detailliert durchgeführt wurde, erhält man als fundamentalen Zusammenhang die **Dispersionsgleichung für Grenzflächenwellen**:

$$\rho_1 \frac{\omega^2}{k} \frac{1}{\tanh\left(kh_1\right)} + \rho_2 \frac{\omega^2}{k} \frac{1}{\tanh\left(kh_2\right)} - g\left(\rho_2 - \rho_1\right) = 0 \tag{2.10}$$

Wesentlich an diesem Dispersionsverhältnis ist, dass ω und k nicht unabhängig voneinander gewählt werden können und Gl. (2.10) somit ein Eigenwertproblem darstellt. Dispersion bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich Wellen mit unterschiedlichen Eigenschaften im

[8] engl.: isopicnals (JIRKA 1999)

[9] engl.: interfacial waves (KUČERA 1989)

selben Medium verschieden schnell bewegen, sich also voneinander entfernen. Für dispersive Wellen, ist das Verhältnis zwischen ω und k nichtlinear.

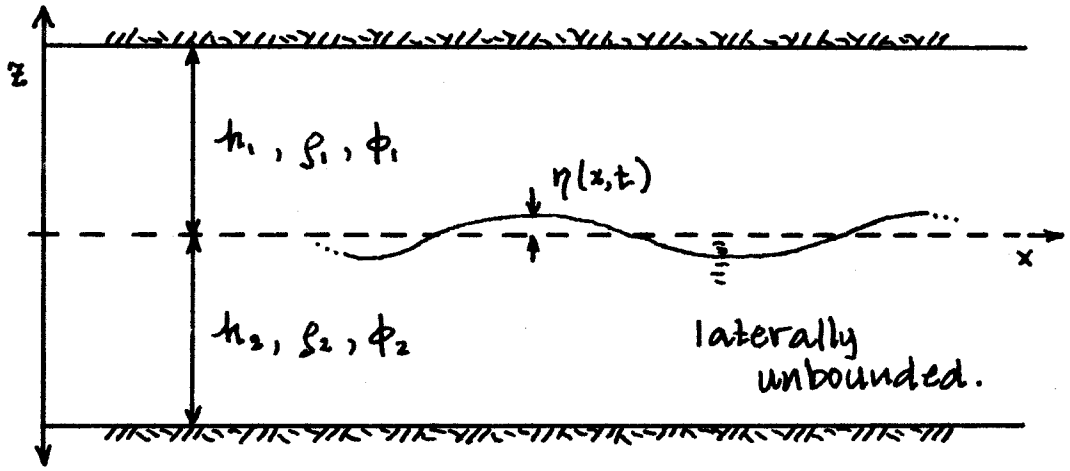


Abb. 2-4: oben und unten begrenztes, geschichtetes 2-Schicht-System (aus SOCOLOFSKY 2001)

Ausgehend von Gleichung (2.10) wird nun die Periode $T_{e,n}$ bestimmt, mit welcher das System angeregt werden muss, um die $n$te externe Mode einer stehende Welle zu erzeugen. Dazu wird das System (Abb. 2-4) als ein 1-Schicht-System betrachtet, d.h. $\rho_1 = 0$ und $h_1 \to \infty$. Dadurch reduziert sich Gleichung (2.10) auf

$$\frac{\omega^2}{k \tanh\left(kh_2\right)} = g \tag{2.11}$$

und stellt damit eine wichtige Gleichung für 1-Schicht-Systeme dar, nämlich die **Dispersionsgleichung für kleine Oberflächenwellen**.

Nach Auflösung der erforderlichen Periode für stehende Wellen (2.9) nach ω und $H = h_2$ ergibt sich nach Einsetzen in (2.11)

$$T^2 = \frac{4l^2 k}{n^2 g \tanh\left(kH\right)} \tag{2.12}$$

Schließlich ergibt sich durch Einsetzen der Bedingung für stehende Wellen aus Gleichung (2.7) die gewünschte Lösung mit

$$T_{e,n} = \sqrt{\frac{4\pi l}{ng \tanh\left(\frac{\pi n}{l} H\right)}} \tag{2.13}$$

Abhängig von der Mode n, die bestimmt werden soll, kann die sogenannte Flachwassernäherung verwendet werden, da der tanh für kleine Argumente fast gleich seinem Argument ist $\left(\tanh x \approx x \;\; , x < 0{,}5\right)$.

Als Faustregel sind stehende Flachwasserwellen wie folgt definiert

$$\frac{\pi n}{l} H \le 0{,}5 \quad \text{oder} \quad n \le \frac{l}{2\pi H} \tag{2.14}$$

Für die **Periode stehender externer Flachwasserwellen** gilt also

$$T_{e,Flw,n} = \frac{2l}{n\sqrt{gH}} \tag{2.15}$$

Diese Flachwasserannahme gilt übrigens in den meisten Fließgewässern, da sie als 1-Schicht-Systeme betrachtet werden können. Setzt man Gleichung (2.5) in (2.9) ein, setzt dies gleich mit (2.15) und löst nach c auf, so erhält man die bereits bekannte **Ausbreitungsgeschwindigkeit infinitesimaler Oberflächenwellen**

$$c = \sqrt{gH} \tag{2.16}$$

Wird in einem geschichteten System eine kontinuierliche Schwingung induziert, so können sich grundsätzlich zwei verschiedene Zustände einstellen. Dies ist abhängig von der Anregungsgeschwindigkeit. Bei einer schnellen Anregung schwingen neben der Oberfläche auch alle vorhandenen internen Schichten symmetrisch mit (siehe Abb. 2-5), ohne dass die Dichteunterschiede eine Rolle spielen. Eine solche schnelle Mode nennt man eine **barotrope Mode**. Nach GILL (1982) ist die genaue Bedeutung der Bezeichnung *barotrop*, dass der Druck auf allen Oberflächen gleicher Dichte, und deshalb auch auf der Grenzfläche, konstant ist.

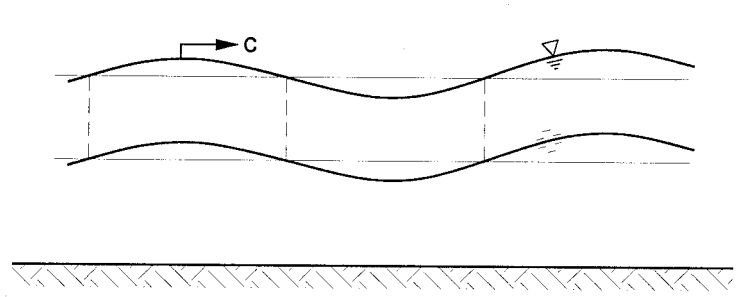


Abb. 2-5: Barotrope Mode, symmetrische Schwingung aller Schichten (aus JIRKA 1999)

Zur Erzeugung von Oberflächenwellen bzw. externen Wellen mit deutlich sichtbarer Amplitude ist eine relativ schnelle Anregung nötig. Zur Anregung von Wellen innerhalb der Grenzflächen zwischen zwei Fluiden mit geringem Dichteunterschied reichen hingegen auch schon langsamere Anregungsfrequenzen aus. Anders betrachtet wird wesentlich weniger Energie benötigt mit der man gleichzeitig auch größere Amplituden in der Zwischenfläche erreichen kann bei gleichzeitig langsamerem Bewegungsablauf. Dies liegt daran, dass die Fluidteilchen an der Zwischenfläche nur einer reduzierten Erdbeschleunigung ausgesetzt sind. Vergleichen kann man dies mit einem Taucher im Meer. Die nach unten gerichtete Gewichtskraft wird um

die nach oben wirkende Auftriebskraft reduziert. Der Taucher ist im Wasser also leichter, benötigt also weniger Energie, um sich nach oben oder unten zu bewegen, allerdings finden unter diesen Bedingungen alle Bewegungsabläufe wesentlich langsamer statt.
Die oben erwähnte reduzierte Erdbeschleunigung ist folgendermaßen definiert:

$$g' = \frac{\Delta\rho}{\rho_0} g \tag{2.17}$$

wobei $\Delta\rho$, der Dichteunterschied der benachbarten Schichten ist, mit

$$\Delta\rho = \rho_2 - \rho_1 \tag{2.18}$$

und ρ_0 als Referenzdichte, als die Dichte einer der beiden angrenzenden Schichten oder deren Mittelwert gewählt werden darf. Hier wird der Mittelwert verwendet, also ist

$$\rho_0 = \frac{\rho_1 + \rho_2}{2} \tag{2.19}$$

Diese langsamere Mode, bei dem die reduzierte Erdbeschleunigung maßgeblich die Bewegungen im System bestimmt, wird als **barokline Mode** bezeichnet (siehe Abb. 2-6). Nach GILL (1982) ist die genaue Bedeutung der Bezeichnung *baroklin*, dass der Druck auf Oberflächen gleicher Dichte nicht konstant ist.

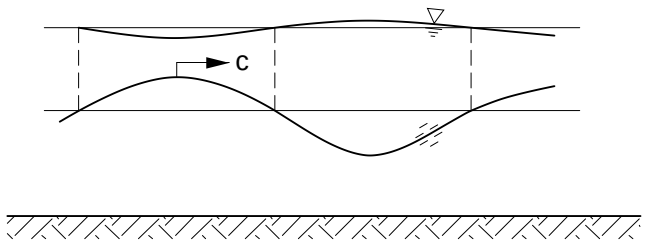


Abb. 2-6: Barokline Mode, antisymmetrische Schwingung benachbarter Schichten (aus JIRKA 1999)

Die interne Welle einer solchen baroklinen Mode bewegt sich wesentlich langsamer als die einer barotropen Mode und erzeugt dabei relativ hohe Amplituden. Die dadurch entstehenden Oberflächenwellen sind exakt antisymmetrisch zu den internen Wellen ausgerichtet und schwingen mit einer wesentlich geringeren, kaum sichtbaren Amplitude.
Für die Betrachtung von internen Grenzflächenwellen soll nun analog zu der mit Gleichung (2.13) hergeleiteten Beziehung die Periode $T_{i,n}$ bestimmt werden, mit welcher das System angeregt werden muss, um die n te interne Mode einer stehenden Welle zu erzeugen.
Von (2.10) ausgehend erhält man zunächst

$$\frac{\omega^2}{k}\left(\frac{\rho_1}{\tanh(kh_1)} + \frac{\rho_2}{\tanh(kh_2)}\right) = g(\rho_2 - \rho_1) \tag{2.20}$$

Für das vorliegende System wird angenommen, dass der Dichteunterschied zwischen beiden Fluiden sehr gering ist. Nach der Boussinesq-Näherung darf danach diese Dichtedifferenz in allen Termen mit Ausnahme der Gravitationsterme vernachlässigt werden, also gilt dort

$$\rho_1 \approx \rho_2 \approx \rho_0 \tag{2.21}$$

Setzt man dies mit (2.17) in (2.20) ein, so erhält man

$$\frac{\omega^2}{k}\left(\frac{1}{\tanh\left(kh_1\right)}+\frac{1}{\tanh\left(kh_2\right)}\right)=g' \tag{2.22}$$

Nach Auflösung der erforderlichen Periode für stehende Wellen (2.9) nach ω und Einsetzen in (2.22) erhält man zunächst

$$T^2=\frac{4l^2k}{ng'\left(\frac{1}{\tanh\left(kh_1\right)}+\frac{1}{\tanh\left(kh_2\right)}\right)} \tag{2.23}$$

und schließlich ergibt sich durch Einsetzen der Bedingung für stehende Wellen aus Gleichung (2.7) die gewünschte Lösung mit

$$T_{i,n}=\sqrt{\frac{4\pi l\left(\tanh\left(\frac{\pi n}{l}h_1\right)+\tanh\left(\frac{\pi n}{l}h_2\right)\right)}{g'n\tanh\left(\frac{\pi n}{l}h_1\right)\tanh\left(\frac{\pi n}{l}h_2\right)}} \tag{2.24}$$

Sind jedoch die Bedingungen für Flachwasser (2.14) erfüllt, so reduziert sich dieser unhandliche Term auf die **Periode für interne, stehende Flachwasserwellen**

$$T_{i,Flw,n}=\frac{2l}{n\sqrt{g'\frac{h_1h_2}{H}}} \tag{2.25}$$

wobei H die Gesamthöhe beider Schichten ist.

2.2.4 Naturphänomen Seiche

Die häufigsten in der Natur vorkommenden stehenden Wellen sind die sogenannten **Seiches**. Seiches sind nach der ENCYCLOPEDIA BRITANNICA eine rhythmische Schwingung in Seen oder teilweise geschlossenen natürlichen Systemen wie Buchten und Häfen. Dieses Phänomen wurde erstmals im 18. Jahrhundert am Genfer See in der Schweiz beobachtet und untersucht. Am Genfer See mit seiner Länge von etwa 72 km und einer laut JIRKA (1999) mittleren Tiefe von etwa 100 m ist das auslösende Moment, so wie an vielen anderen Seen, ein über längere Zeit anhaltender Wind aus derselben Richtung. Er stellt die Oberfläche des Sees schief, wie in Abb. 2-7 gezeigt wird. Sobald der Wind sich legt, muss der See den Gleichgewichtszustand

(ebene Oberfläche) wieder herstellen. Wie ein Pendel welches aus der Ruhelage gebracht wird, fängt der See nun an zu schwingen.

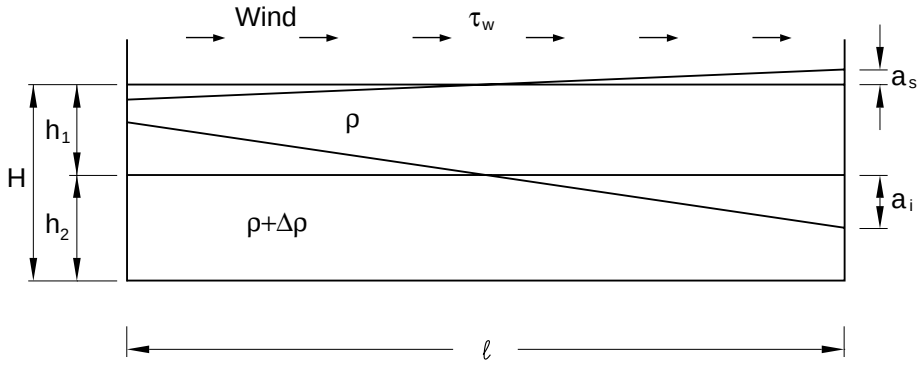


Abb. 2-7: Erzeugung einer Seiche (aus JIRKA 1999)

Das horizontale Kräftegleichgewicht in Abb. 2-7 entspricht

$$\rho g \ \ 2a_s H = \tau_w \ell \tag{2.26}$$

Daraus lässt sich die Oberflächenamplitude a_s als induzierender barotroper Krafteinfluss für die externe Seiche ermitteln

$$a_s = \frac{\tau_w}{\rho \ g} \ \frac{\ell}{2 \ H} \tag{2.27}$$

Der Druck am Boden muss zu konstant sein, denn in dieser Schiefstellung gibt es keine Strömungen. Die Drücke sind

$$p_{links} = \rho g \left(h_1 - a_s - a_i\right) + \left(\rho + \Delta\rho\right) g \left(h_2 + a_i\right) \tag{2.28}$$

$$p_{rechts} = \rho g \left(h_1 + a_s + a_i\right) + \left(\rho + \Delta\rho\right) g \left(h - a_i\right) \tag{2.29}$$

Eine Gleichsetzung beider Terme ergibt die interne Amplitude a_i als die ausgleichende barokline Korrektur für die interne Seiche

$$a_i = \frac{\rho}{\Delta\rho} \ a_s \tag{2.30}$$

Nun wird deutlich, wie groß die Unterschiede zwischen den internen und externen Amplituden in natürlichen Gewässern werden können. Eine überschlägige Rechnung am **Beispiel des Genfer Sees** soll dies verdeutlichen. Da in Seen, aufgrund der temperaturgegebenen Dichteschichtung typischerweise

$$g' \approx 0{,}1 \frac{m}{s^2}$$

angenommen werden kann, ist nach (2.17)

$$\frac{\rho}{\Delta\rho} \approx 10$$

Daraus ergibt sich für die interne Amplitude nach (2.30)

$$a_i \approx 10 a_s$$

Bei einer Oberflächenamplitude von $a_s = 5cm$ bedeutet dies eine interne Amplitude von $a_i = 0,5m$.

Zur Überschlagsberechnung der Perioden werden folgende weitere Annahmen getroffen:

$$l = 70km$$
$$H = 100m$$
$$h_1 = 10m$$

Daraus ergibt sich aus Gl. (2.25) für die Periode der ersten internen Mode

$$T_{i,Flw,1} \approx 2460\,\text{min} \approx 41h$$

Dies zeigt wie langsam solche Prozesse in der Natur ablaufen.

KISTLER (2000) schreibt über die im Jahre 1841 im Genfer See stattgefundene außergewöhnlich starke externe Seiche, dass sie eine externen Amplitude a_s von 1,87m und einer Periode T von 73 min hatte. Der See schaukelte ganze 7 Tage und 17 Minuten. Prüft man dies mit einer überschlägigen Berechnung der Periode für die erste externe Mode mit Hilfe von Gl. (2.15), so ergibt sich tatsächlich

$$T_{e,Flw,1} \approx 74\,\text{min}$$

Die für die Natur außergewöhnlich kurze Periode zeigt, dass es sich bei diesen Angaben nur um eine externe Seiche handeln kann.

3 *welafi* - ein web-basierter Laborversuch

3.1 Vorbemerkung

Bei *welafi*, dem ***we**b-based **la**b **f**or **i**nterfacial waves*, handelt es sich um die web-basierte Steuerung eines real existierenden Versuchsstands. Deshalb kann eine Betrachtung aller beteiligten Komponenten des webbasierten Labors mit einer isolierten Beschreibung des eigentlichen Versuchsstands beginnen. Der Laborversuch ist also so aufgebaut, dass er auch ohne eine Koppelung an eine internetbasierte Steuerung betrieben werden kann. Dies wird auch mit Hilfe von Abb. 3-1 deutlich.

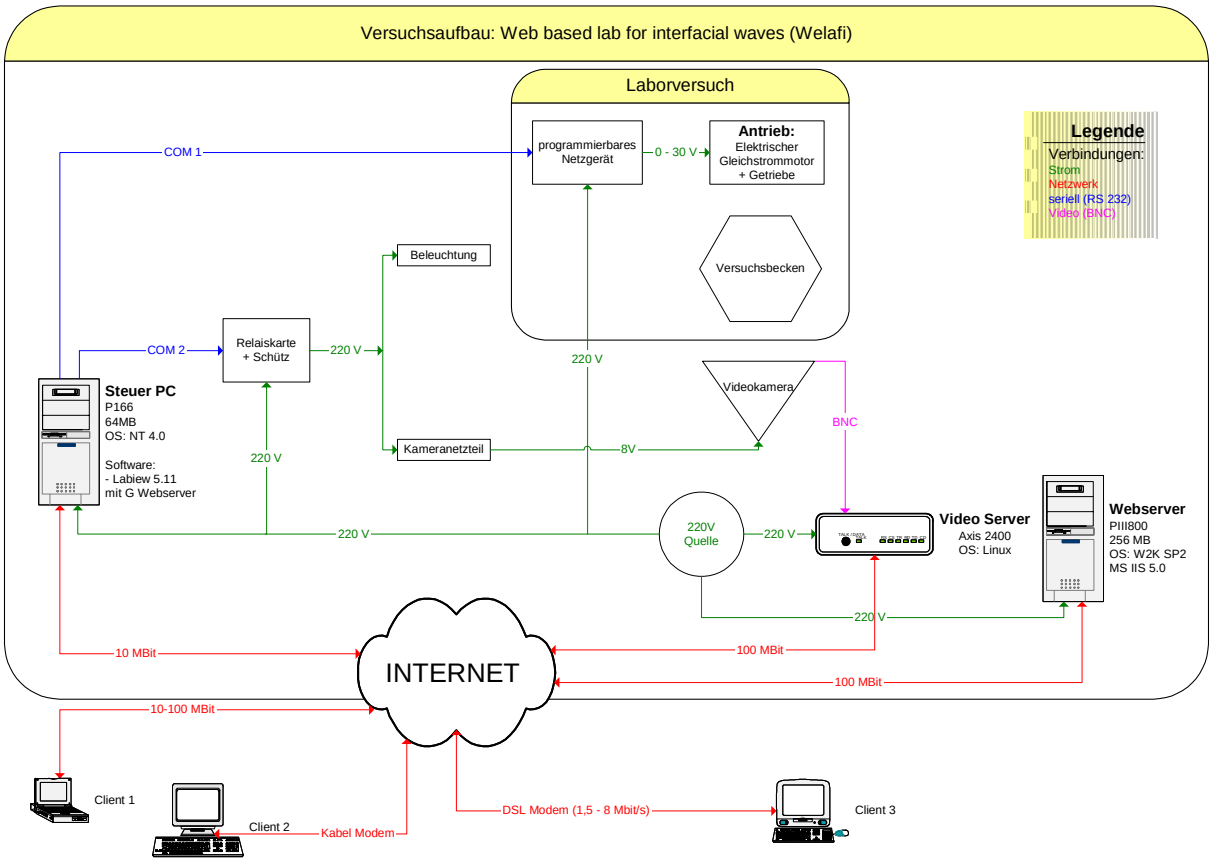


Abb. 3-1: Versuchsaufbau : Web based lab for interfacial waves

Darüber hinaus gibt es nur ein paar wenige zusätzliche Details, welche für einen gewöhnlichen Laborversuch nicht unbedingt erforderlich sind. Dies betrifft verschiedene Funktionalitäten, welche speziell für den automatisierten Dauerbetrieb und die Videostream basierte Visualisierung notwendig sind und weiter unten beschrieben werden.

3.2 Definition des Laborversuchs

Die Aufgabe des Laborversuchs ist es, in einem Behälter, der mit zwei nicht mischbaren Flüssigkeiten gefüllt ist, durch eine kontinuierliche mechanische Anregung verschiedene stehende Wellenmuster von Wellen zu erzeugen. Das Anregen der ersten drei baroklinen sowie der ersten zwei barotropen Moden soll möglich gemacht werden (vgl. Kapitel 2.2.3).

Als Behälter dient ein innen 75 cm langes und 10 cm breites Glasbassin mit einer Höhe von 50 cm. Das 10 mm dicke Glas ist gewöhnliches Floating-Glas, wie es für den Aquarienbau verwendet wird.

Bei den verwendeten Flüssigkeiten handelt es sich zum einen um demineralisiertes Wasser mit einer Dichte von etwa 999 kg/m³ und zum anderen um Silikonöl M3. Das Silikonöl ist mit einer Viskosität von 3 Centistokes[10] etwa dreimal so zähflüssig wie Wasser. Die Dichte schwankt beim Silikonöl zwischen 900 kg/m³ bei 25°C und 930 kg/m³ bei 0°C. Die Temperaturabhängigkeit der Dichten ist dazwischen in etwa linear (BAYER AG, 1997).

Die untenliegende Wasserschicht ist etwa 9,3 cm hoch und ist mit Rhodamine WT hellblau eingefärbt. Die darüberliegende Schicht mit Silikonöl ist 8 cm dick und ist mit einer vordispergierten Farblösung leicht rötlich gefärbt (siehe Abb. 3-2).

Abb. 3-2: Becken mit den gefärbten Fluiden

Erste Versuche in einem Testbehälter aus Plexiglas haben gezeigt, dass sich durch die Kombination von Plexiglas / Wasser / Silikonöl durch den Einfluss der Oberflächenspannung ein

[10] 1 centistoke = 1 cm²/s → $\nu_{M3}=3*10^{-4}$ m²/s

relativ starker Meniskus an der Wand einstellt. Dieses Problem konnte mit dem Glasbehälter, der zudem mit 10 cm doppelt so breit ist und somit den Einfluss der Oberflächenspannung reduziert, behoben werden.

Die Erzeugung der Wellen im Becken erfolgt durch einen sich vertikal mit einem Hub von 4,5 cm bewegenden Körper (siehe Abb. 3-3), der sich an der rechten Beckenseite befindet (siehe Abb. 3-2).

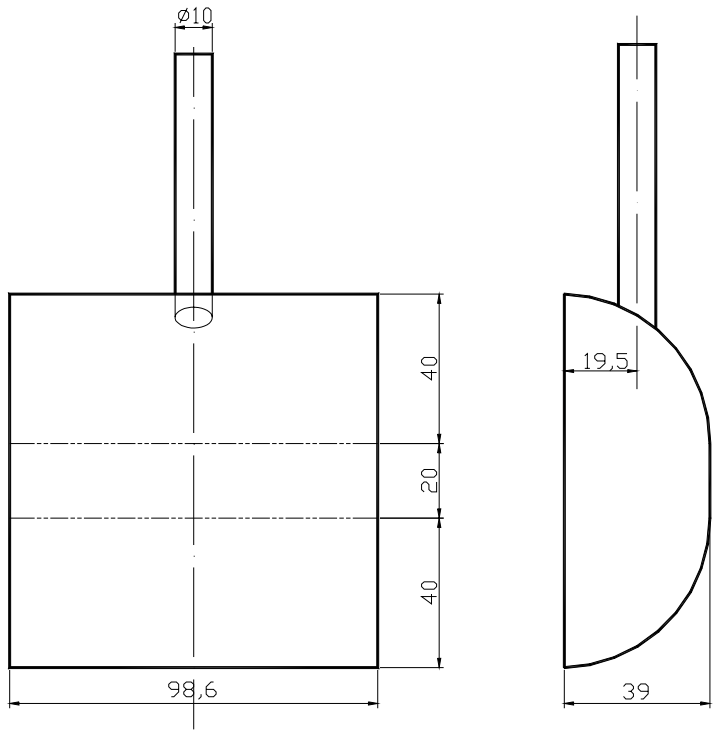


Abb. 3-3: Skizze des Wellenerzeugungskörpers mit Abmessungen in [mm]

Für den Antrieb des Störkörpers sorgt ein Elektrogleichstrommotor, der mit einem Untersetzungsgetriebe ausgestattet ist und über einen Zahnriemen mit einer weiteren Untersetzung einen Umlenkungsmechanismus bewegt, der seinerseits eine Stange mit dem Wellenerzeugungskörper hebt und senkt (siehe Abb. 3-4).

Der Elektromotor wird von einem programmierbaren digitalen Netzgerät gespeist, das von 0-30 V bei bis zu 2,5 A betrieben werden kann.

Hinter dem Becken befindet sich noch eine dünne milchfarbene Plexiglasscheibe, die das Licht der dahinter befindlichen zwei Leuchtstoffröhren streut. So ist der Laborversuch bei frontaler Betrachtung, d.h. aus der Perspektive der Videokamera optimal ausgeleuchtet.

Abb. 3-4: Antriebsmechanismus

Die oben bereits angesprochenen zusätzlichen Details, welche für einen gewöhnlichen Laborversuch nicht unbedingt notwendig sind, dienen als Schnittstelle für die im nächsten Kapitel beschriebene PC-basierte Steuerung. So ist das Netzgerät mit einer seriellen Schnittstelle (RS-232) ausgestattet, was eine softwarebasierte Steuerung der Anregungsfrequenz über den PC ermöglicht.

Die Leuchtstoffröhre verfügt über keinen Netzschalter, ihr Netzstecker ist jedoch mit einem 220V- Schaltschütz verbunden, welches an eine Relaiskarte mit RS-232-Schnittstelle gekoppelt ist. Diese ermöglicht das Schalten von 220 V-Stromquellen. Neben der Beleuchtung wird so auch das Netzteil zur Stromversorgung der Videokamera geschaltet.

Mit dem bis hier beschriebenen Versuchsaufbau ist ein auf das Labor beschränkter Betrieb ohne weiteres möglich.

3.3 PC-basierte Steuerung mit LabVIEW

Zur automatisierten Steuerung des Laborversuchs sind zusätzliche Geräte und Software erforderlich. Als Computer wird ein handelsüblicher PC mit Pentium 166 MHz mit 64 MB RAM benutzt. Als Betriebssystem ist Windows NT Workstation 4.0 SP6 installiert. Zur Steuerung des Versuchsstands wird die Software *LabVIEW* eingesetzt. Es werden lediglich zwei kleinere VIs benötigt. Die Steuerung des programmierbaren Netzgerätes wird von ***netzteil.vi*** (siehe Anhang C) übernommen. Das serielle Verbindungskabel (RS-232) ist auf PC-Seite mit dem COM 1-Port verbunden. Mit ***netzteil.vi*** ist es möglich, unterschiedliche Spannungen an das Netzgerät weiterzugeben, dadurch die Geschwindigkeit des Elektromotors und somit des

Anregungsmechanismus zu steuern. Darüber hinaus ist in dem VI eine Rampe integriert, die ein langsames Anfahren des Motors auch für hohe Geschwindigkeiten gewährleistet.
Das zweite VI mit der Bezeichnung ***relais_1.vi*** schaltet das erste Relais auf der Relaiskarte und ist somit der Stromschalter für die Beleuchtung und die Kamera. Die Relaiskarte ist pc-seitig an der zweiten seriellen Schnittstelle des PCs, dem COM 2 Port angeschlossen. (vgl. Abb. 3-1). Der Versuchsaufbau aus Kapitel 3.2 ist nun also lediglich um eine PC-basierte Steuerung erweitert. Diese ist für den lokalen Betrieb nicht unbedingt notwendig, stellt allerdings die Voraussetzung für eine im nächsten Unterkapitel beschriebene web-basierte, automatisierte Steuerung des Laborversuchs dar.

3.4 Webfunktionalitäten

3.4.1 Aufbau der Website

Beim Aufbau der *Welafi*-Webseiten wurde versucht, eine zielgruppenorientierte Struktur umzusetzen. Die primäre Zielgruppe sind nationale und internationale Studenten und Dozenten, die sich mit Hydromechanik im Allgemeinen und Dichteströmungen im Speziellen beschäftigen. Um hier ein möglichst großes Publikum zu finden, präsentiert sich die Website komplett in englischer Sprache.
In Abb. 3-5 ist die aktuelle Struktur der Webseiten abgebildet. Da eine Website selten eine endgültige Gestalt annimmt, sondern vielmehr ein dynamisch, sich ständig veränderndes Produkt darstellt, muss mit einer zukünftigen Erweiterung und Anpassung dieser Struktur gerechnet werden.
In der ersten Spalte von Abb. 3-5 sind die möglichen Einstiegspunkte auf der Eingangsseite der *Welafi*-Website zu sehen. Diese sind auch auf allen anderen Seiten mit Ausnahme des Laborbereichs durch eine Navigationsleiste (Abb. 3-6) abrufbar. Unter ***about welafi*** findet der Besucher der Webseite Informationen über die Motivation des Projektes, zahlreiche technische Hintergrunddetails, zu den in der Entwicklungsphase des Laborversuchs evaluierten Fluiden und getesteten Anregungsmechanismen, aber auch zu den eingesetzten Webtechnologien und der verwendeten IT-Hardware. Darüber hinaus findet sich dort auch eine Linksammlung zu anderen web-basierten Projekten und Laboratorien und zu Seiten, die sich mit e-learnig und WBT (web based training) befassen.

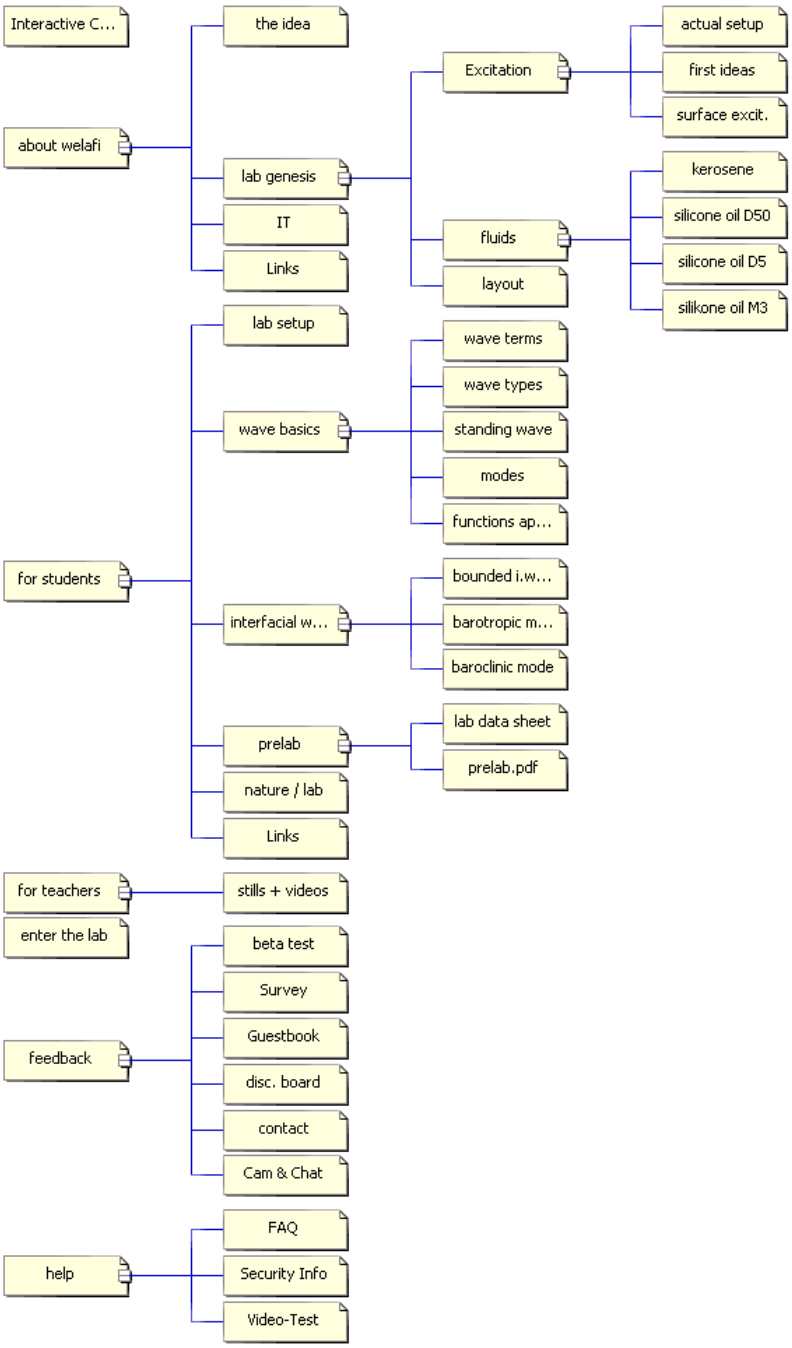


Abb. 3-5: Struktur der *Welafi*-Webseiten

Um den Studenten als Zielgruppe den Einstieg zu erleichtern, befindet sich als zweiter Punkt der ersten Ebene der Link ***for students***. Hier bekommt der Student die notwendige Information zur Durchführung der Laborübung. Mit Hilfe von zahlreichen Java-Applets wird ihm durch interaktive Animationen schnell ein Basiswissen der Wellentheorie vermittelt. Neben den für eine Laborübung üblichen Angaben zum Versuchsaufbau ist auch eine Aufgabenstellung in Form eines *prelab* abrufbar. Weiterhin findet sich eine detaillierte Herleitung der Dispersionsgleichung für Grenzflächenwellen in begrenzten Systemen (vgl. Anhang B), sowie

eine Beschreibung der in der Natur vorkommenden Grenzflächenwellen. Außerdem findet der Student für ein weiterführendes Studium von stehenden Wellen eine Linksammlung.

Der Link ***for teachers*** soll, ebenso zielgruppenorientiert, einen schnellen Einstieg für Dozenten bieten. Interessierte Lehrer können hier schnell entscheiden, ob *welafi* sich in ihren Lehrplan sinnvoll einbinden lässt. Eine Sammlung von Standbildern und Videos, welche die Möglichkeiten von *welafi* zeigt, unterstützt sie dabei.

Mit einem Klick auf ***enter the lab*** betritt der Besucher den eigentlichen Laborbereich. Damit begibt er sich in den Kernbereich der Website. Hier wird weitgehend mit Hilfe von dynamischen Webseiten auf Basis von ASP gearbeitet. Deshalb wird für eine detaillierte Beschreibung der dort zu Verfügung stehenden Funktionalitäten und der technischen Realisierung an dieser Stelle auf Kapitel 3.4.4.2 verwiesen.

Unter dem Punkt ***feedback*** findet man sich diverse typische Funktionalitäten zur Kommunikation, die Möglichkeit zu Kontaktaufnahme, ein Gästebuch und ein Diskussionsforum. Ein Umfrageformular hilft außerdem, einen Überblick über die bei den Anwendern evtl. auftretenden Probleme und Informationen über deren Computerausstattung und Netzanbindung zu erhalten. So können vorhandene Inkompatibilitäten erkannt und beseitigt werden.

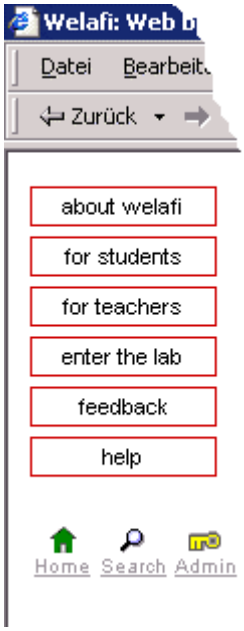


Abb. 3-6: Hauptnavigationsleiste

Mit Hilfe des letzten auf der Webseite rot eingerahmten Links ***help*** gelangt der Besucher von *welafi* u.a. zu einer Sammlung oft gestellter Fragen (FAQ[11]).

[11] FAQ = Frequently Asked Question

Darunter finden sich drei weitere ständig verfügbare Links (siehe auch Abb. 3-5). ***Home*** ermöglicht jederzeit die Rückkehr zur Startseite und ***Search*** bietet eine Volltextsuche über alle *Welafi*-Webseiten an.

Admin ist ein geschützter Bereich, der lediglich den Administratoren nach vorhergehender Authentifizierung zugänglich ist. Hier besteht für berechtigte Personen z.B. die Möglichkeit zu überwachen, was der aktuelle Benutzer gerade im Labor macht. Weiterhin kann von dort das Labor manuell entsperrt werden, falls dieses aus technischen Gründen notwendig sein sollte. Schließlich befinden sich hier auch die täglich automatisch aktualisierte statistische Auswertung der log-files, in denen die Informationen über die Aktivitäten der Benutzer auf den Webseiten gespeichert sind.

Für die Entwicklung der Webseiten wurde die Software Microsoft Frontpage 2000 verwendet.

3.4.2 Fernsteuerung des Versuchsstands mit LabVIEW G Webserver

Die beiden in Kapitel 3.3 beschriebenen VIs ***netzteil.vi*** und ***relais_1.vi*** reichen für einen manuellen Betrieb des Versuchsstands vor Ort aus. Um den Ansprüchen einer automatisierten, über das Internet ferngesteuerten Lösung gerecht zu werden (vgl. auch Kapitel 2.1.2, Liste, Punkt 3), werden für die oben genannten VIs jeweils ein weiteres VI eingeführt, das diese Aufgabe übernimmt. In beiden Fällen handelt es sich dabei um eine einfache, zur Sicherheit erforderliche Abschaltautomatik, die außerdem hilft Strom zu sparen[12]. So gibt ***motor.vi*** alle an ihn gerichteten Befehle an ***netzteil.vi*** weiter und sorgt gleichzeitig über eine eingebaute Schleife für die automatische Abschaltung des Motors nach 10 Minuten. Die Datei ***strom.vi*** kommuniziert mit ***relais_1.vi*** und schaltet den Strom für die Kamera und die Beleuchtung nach 30 Minuten Leerlaufzeit ab.

Das letzte benötigte und wichtigste VI ist das bereits im Internet Developer Toolkit enthaltene VI Control CGI. Das ***victrl.vi*** CGI dient dazu, Steuerwerte eines laufenden VIs vom Typ *boole*, *nummerisch* oder *string* zu setzen. Es kann auch dazu verwendet werden, Konsolen anderer VIs zu öffnen oder zu schließen und VIs zu starten. Es ermöglicht somit eine einfache Kommunikation mit einzelnen VIs über das Internet.

Am Beispiel der in *welafi* eingesetzten CGI-Aufrufe wird die Funktionsweise schnell deutlich. Die den Strom einschaltende Befehlszeile

```
http://129.13.120.9/cgi-bin/examples/victrl.vi?strom.vi&command=run&open&SetBool,Licht=on
```

[12] Der Versuchsstand benötigt im Stand-by-Betrieb nur etwa 50 Watt, verglichen mit einer Leistungsaufnahme im Betrieb von ca. 300 Watt.

welche einfach als URL[13] an ***victrl.vi*** geschickt wird, öffnet und startet ***strom.vi*** und setzt die boolesche Variable ***Licht*** auf ***on***. Der Beginn der Parameterübergabe wird bei CGI in der Regel von einem `?` eingeleitet und die einzelnen Parameter werden typischerweise durch ein `&` voneinander getrennt. Die Trennung von Parametername und –wert erfolgt durch ein `=`.
Die praktischere Verwendung in Verbindung mit auf POST-Übermittlung basierenden HTML-Formularen kann erst im nächsten Kapitel deutlich gemacht werden, denn bei der Verwendung des VI Control CGIs hat sich leider gezeigt, dass nur die Kommunikation via URL, also durch einen expliziten Link funktioniert.
Deshalb muss die URL zur Steuerung von ***motor.vi*** auch zunächst, relativ umständlich erscheinend, per ASP-Skript dynamisch erzeugt werden (siehe dazu Punkt 3 in Kapitel 3.4.4.3).
Eine solche URL, soll sie z.B. eine Motorspannung von 57 dV anlegen, würde folgendermassen aussehen:

```
http://129.13.120.9/cgi-bin/examples/victrl.vi?motor.vi&command=run&open&SetInt,Drehzahl=57
```

Dieser Befehl unterscheidet sich von dem oberen lediglich dadurch, dass hier in ***motor.vi*** mit `SetInt` der Integer-Variable `Drehzahl` ein bestimmter Wert (`57`) zugewiesen werden soll.
Die Blockdiagramme aller besprochenen VIs befinden sich im Anhang C.
Die für das Control VI CGI wichtigen Parameter befinden sich im Anhang D.

3.4.3 Videostreaming

Für die Übertragung eines Live-Videos vom Versuchsstand wird ein bereits in Kapitel 2.1.3.3 erwähnter Videoserver verwendet. Bei der auf dem Stand-Alone-Gerät eingesetzten Firmware[14] handelt es sich um eine frühe Linux-basierte Version. An das Gerät können bis zu 4 Videoquellen gleichzeitig angeschlossen werden. Im Rahmen dieses Projektes wird lediglich eine Videokamera betrieben. Eine Verwendung an weiteren Versuchsständen innerhalb des Labors, welche bereits über geeignete Videoquellen verfügen, ist also ohne die Anschaffung neuer Hardware möglich. Dabei kann man mit dem anzuschließenden Koaxialkabel eine Entfernung zwischen Versuchsstand und Videoserver von bis zu etwa 50 m überbrücken. Wäh-

---

[13] Abk. für Uniform Resource Locator; URL bezeichnet die genormte Adressierung für Multimedia-Dokumente im WWW oder auf dem eigenen Rechner. Ein Webbrowser muss die URL einer Homepage kennen, um auf sie zugreifen zu können. Sollen aus einem HTML-Dokument andere Dokumente aufgerufen werden, so müssen eingebettete Links mit deren URL enthalten sein. Eine URL ist wie folgt aufgebaut: Protokoll://Server/Verzeichnis/Dokument

[14] Unter Firmware versteht man die Software eines Geräts, die vom Hersteller des Geräts in einem ROM-Baustein untergebracht wurde. Diese Software hat meist sehr elementare Aufgaben in dem jeweiligen Gerät (M+T COMPUTERLEXIKON 2001).

rend eine normale Netzwerkkamera lediglich eine maximale Bildrate von 10 fps[15] erreicht, sind die Leistungsreserven eines Videoservers darüber hinaus weit höher, wie aus den Daten in Tabelle 3-1 hervorgeht.

Auflösung	Dateigröße (Kb)	Maximale Bildrate (fps) *
704 x 576**	8.5 –180	8
352 x 288	1.7 – 50	25
176 x 144	0.4 –12	25
Quad (4 x 352 x 288)	8.5-180	5

Tabelle 3-1: Leistungsdaten des Axis 2400 Videoservers bei verschiedenen Auflösungen (AXIS 2000), * Maximale Leistung für einen Benutzer bei einer aktiven Videoquelle, ** interlaced

Wie leicht nun eine Ansteuerung des Axis-CGI-APIs, im Vergleich zum LabVIEW VI Control CGIs mittels eines einfachen HTML-Formulars gestaltet werden kann, soll im Folgenden erläutert werden.

Die Anzeige eines aktuellen Bildes vom Videoserver z.B. ist durch Absenden folgender URL möglich:

```
http://129.13.145.11/axis-cgi/jpg/image.cgi
```

Die Ausgabe erfolgt bezüglich Auflösung und Kompressionsgrad mit Standardwerten, welche über den auf dem Videoserver eingebauten Webserver definiert werden können.

Wird nun ein HTML-Formular verwendet, so kann jedes einzelne Auswahlfeld in dem Formular ein an das CGI zu übergebender Parameter mit einem definierten Wert sein. Dabei stellt der Name des Formularfeldes den Parameternamen und der Inhalt des Formularfeldes den Wert des CGI-Parameters dar. So gibt z.B.

```
http://129.13.145.11/axis-cgi/jpg/image.cgi?resolution=704x576&compression=30&camera=1
```

ein Standbild von `camera 1`, mit einer Auflösung (`resolution`) von `704x576` Pixel und einer Kompression (`compression`) von `30` % aus. Die Trennung der Parameter durch das `&` erfolgt hier automatisch.

Die Ausgabe eines Videostreams erfolgt mit einer ähnlichen Befehlszeile und lautet analog zur oben beschriebenen Ausgabe eines Standbildes:

```
http://129.13.145.11/axis-cgi/mjpg/video.cgi?resolution=704x576&compression=30&camera=1
```

Dies funktioniert allerdings nur, wenn der Clientbrowser den sogenannten Server Push Mode unterstützt, eine von Netscape entwickelte Technologie, um ein Bilddatenstrom ohne zusätzliche Techniken an den Webbrowser zu übertragen. Server Push wird vom Internet Explorer nicht unterstützt und ist selbst mit dem Netscape Navigator nur mit einem störenden Flackern

[15] fps = frames per second, Bilder pro Sekunde

einzusetzen. Deshalb wird der Bilddatenstrom beim Axis Videoserver entweder in einem ActiveX-Control oder einem JavaApplet verpackt.

Für die Lösung über ActiveX muss der Benutzer vor dem ersten Aufruf der Videostreamseite zunächst ein Plug-In herunterladen und dieses installieren. Das erfolgt zwar automatisch, ist jedoch nicht sehr beliebt, da der Anwender aus Sicherheitsgründen nicht unbedingt gewillt ist, fremde Software auf seinem Rechner zu installieren.

Der Einsatz von Java gestaltet sich dagegen schon einfacher, da die meisten Internetbenutzer über einen java-fähigen Browser verfügen und so keine zusätzlichen Benutzeraktionen für einen erfolgreichen Abruf des Live-Videostreams notwendig ist.

Bei beiden Ansätzen kann jedoch keine hundertprozentige Funktionsgarantie gegeben werden. Die Gründe dafür können z.B. eine zu restriktiv konfigurierte Firewall[16] auf Server- oder Clientseite oder ein alter oder falsch konfigurierter Browser sein.

Dies zeigt sich auch als Ergebnis der im Rahmen dieser Arbeit gemachten ersten kleinen Erhebungen, bei denen die Funktionsfähigkeit und Leistung des Videostreams von verschiedenen Standorten getestet wurde. Getestet wurde von Heimrechnern per Telefonwahleingang (Modem, ISDN), mit ADSL, von Universitäten, Studentenwohnheimen und Firmennetzwerken aus.

Der Zugang über Telefonwahleingänge hat bei allen an den Tests beteiligten Personen funktioniert, allerdings wird die Bandbreite einer Modem- oder ISDN-Verbindung (56 bzw. 64kbps[17]) der hohen Bandbreitenanforderung von *welafi* (> 500kbps) nicht gerecht. Bei der Konzeption von *welafi* wurde allerdings immer schon ein breitbandiger Anschluss auf Clientseite vorausgesetzt.

So ist auch erfreulich, dass die Ergebnisse mit dem kleinsten derzeit in Deutschland verfügbaren Breitbandanschluss, ADSL (768 kbps) mit 11 fps bei einer Auflösung von 352x288 Pixel und einer Kompression von 50% in einem akzeptablen Bereich lagen.

Die Netzanbindung der primären Zielgruppenstandorte, der Universitäten weltweit, bietet dagegen bereits ideale Voraussetzungen für die Nutzung von *welafi*. Deutsche Universitäten, aber auch die meisten der in den Universitätsstädten vorhandenen Studentenwohnheime sind mit mindestens 10, oft sogar schon 100Mbit über feste Leitungen miteinander vernetzt. So sind von diesen Standorten flüssige Videostreams mit 25 fps bei einer Auflösung von 352x288 Pixel und einer Kompression von lediglich 30% möglich. Bei der höheren Auflö-

---

[16] Kombiniertes Hard- und Softwaresystem zum Schutz eines lokalen Netzwerkes (LAN) mit Anbindung an das Internet vor Angriffen des LAN aus dem Internet

[17] kbps = kilo bits per second, 1 kbps entspricht 1000 übertragenen Bits pro Sekunde

sung von 704x576 Pixel liegt der Flaschenhals mit 8 fps nicht mehr auf dem Übertragungsweg durch das Internet, sondern schon bei der Komprimierungshardware, wie auch aus Tabelle 3-1 hervorgeht.

Es gab aber auch Standorte, von denen aus nur ein eingeschränkter Zugriff auf die Videostreamfunktionalität von *welafi* möglich war. So ist es in vielen Firmennetzwerken den Benutzern aus Sicherheitsgründen nicht erlaubt, Java einzusetzen, und die einzelnen Rechner sind von den Administratoren dementsprechend konfiguriert.

Die Datenbasis der obigen Umfrage ist allerdings zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht repräsentativ, um sie hier aufzuführen und statistisch auszuwerten. Es fehlen weitere internationale Teststandorte.

3.4.4 Active Server Pages

3.4.4.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die Webseitenfunktionalitäten des eigentlichen Laborbereichs näher betrachtet. Fast alle dafür notwendigen Seiten werden dynamisch erstellt. Dabei soll verdeutlicht werden, wie die Verwendung von serverseitigem Skripting mit Hilfe von ASP (Active Server Pages) einige Schwächen von rein statischem HTML-Code beheben kann. Die dargestellten Ablaufdiagramme sind sehr allgemein gehalten. Eine Erklärung der verwendeten Sinnbilder ist in Abb. 3-7 dargestellt. Für einen detaillierten Einblick ist in Anhang E der dahinterliegende, kommentierte ASP-Code abgedruckt.

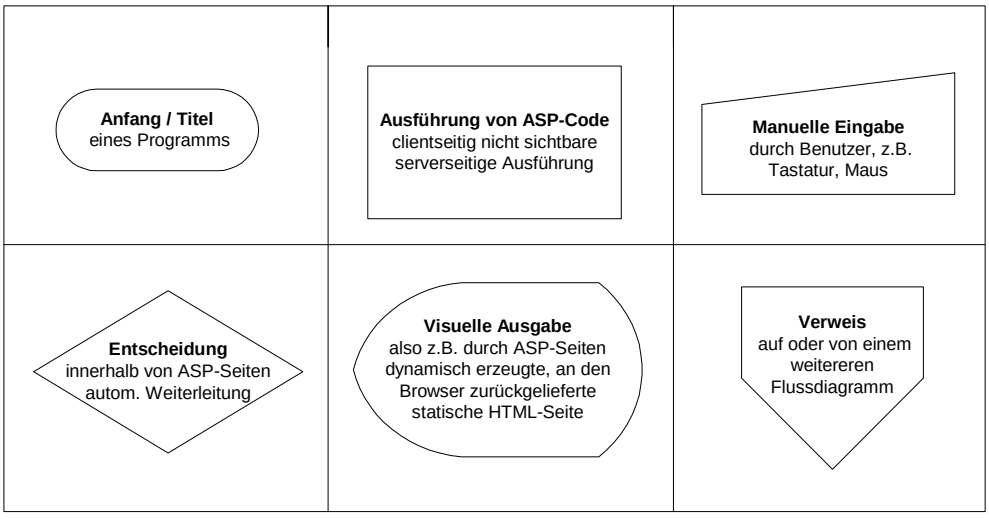


Abb. 3-7: Definition der in den Ablaufdiagrammen verwendeten Sinnbilder auf Basis von DIN 66001 (1983)

3.4.4.2 Zugang zum Labor

Der Laborbereich wird über den Link ***Enter the lab*** betreten. Dabei wird zunächst eine erste Zugangsvoraussetzung überprüft, die Überprüfung auf Cookie-Annahme (Abb. 3-8). Dabei wird getestet, ob der Browser des Benutzers die Annahme von nicht permanenten Cookies erlaubt. Als Cookies werden die Session ID und die vom Benutzer gewählten Videoeinstellungen (Kompression und Auflösung) gespeichert. Mit Hilfe der Session ID kann der Server den Benutzer während einer definierten Sessionlaufzeit von 10 Minuten wiedererkennen und aus den Video-Cookies kann er bei wiederholtem Aufruf des Videostreams die zuletzt gewählten Videoeinstellungen abrufen.

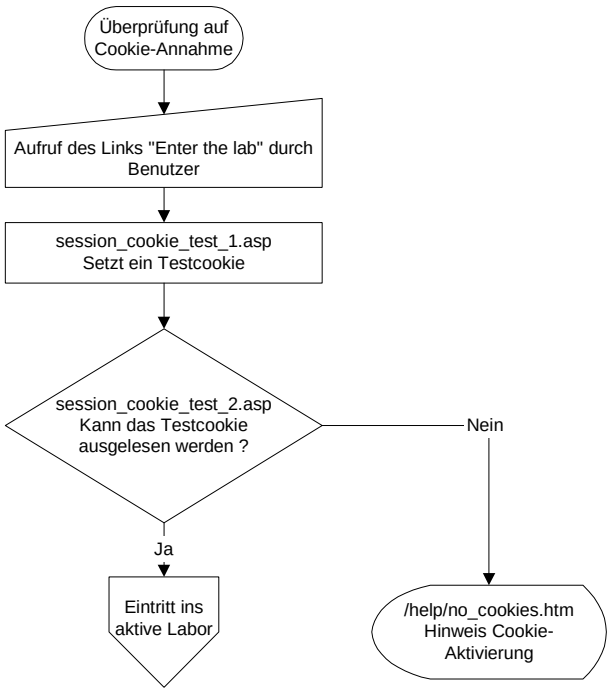


Abb. 3-8: : Überprüfung auf Cookie-Annahme

Ist die Cookie-Annahmeüberprüfung erfolgreich abgeschlossen, so wird automatisch versucht, ins aktive Labor einzutreten (Abb. 3-9).

Ist das Labor unbesetzt und somit der Eintritt möglich wird, bekommt der Benutzer die Eingangsseite für das aktive Labor angezeigt (***lab_active.asp***). Sie besteht aus zwei Frames[18]. Im linken Frame wird ständig die Steuerkonsole angezeigt (***select_frame.asp***). Im rechten Frame, dem zur variablen Anzeige dienenden Hauptframe, wird zunächst die Willkommens-, bzw. Hilfeseite angezeigt (Abb. 3-10). Hier wird der Benutzer mit den Bedienungselementen vertraut gemacht. Die nun zur Verfügung stehenden Funktionen werden im nächsten Kapitel beschrieben.

[18] Ein Frame ist eine Webseite, welche in eine andere Webseite eingebetet ist.

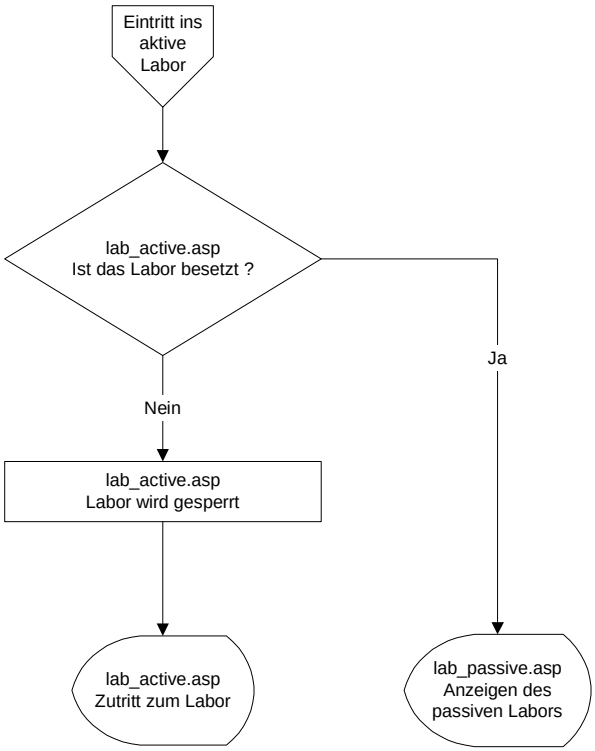


Abb. 3-9: Eintritt ins aktive Labor

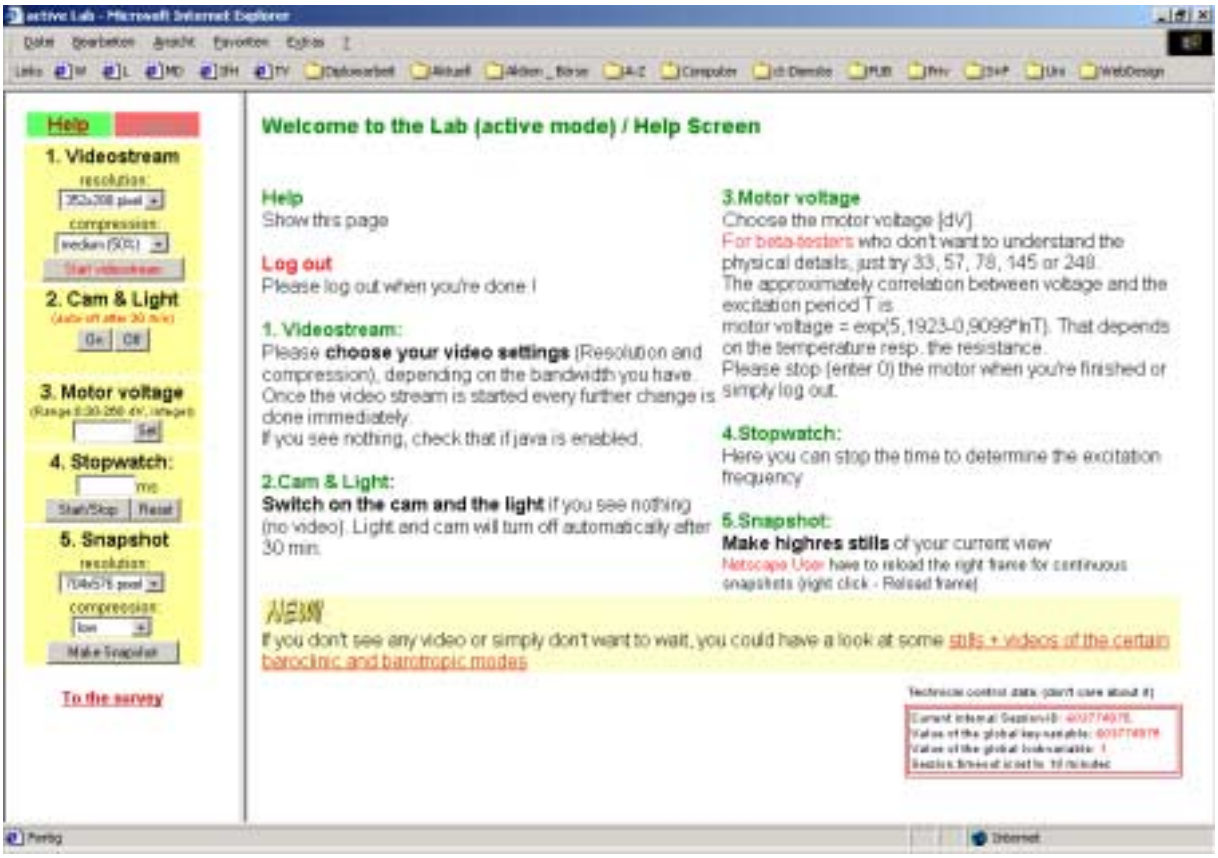

Help
1. Videostream
2. Cam & Light
3. Motor voltage
4. Stopwatch:
5. Snapshot
To the survey
Welcome to the Lab (active mode) / Help Screen
Help
Show this page
Log out
Please log out when you're done !
1. Videostream:
Please choose your video settings (Resolution and compression), depending on the bandwidth you have. Once the video stream is started every further change is done immediately.
If you see nothing, check that if java is enabled.
2.Cam & Light:
Switch on the cam and the light if you see nothing (no video). Light and cam will turn off automatically after 30 min.
3.Motor voltage
Choose the motor voltage [dV]
For beta-testers who don't want to understand the physical details, just try 33, 57, 78, 145 or 249.
The approximately correlation between voltage and the excitation period T is:
motor voltage = exp(5,1923-0,9099*lnT). That depends on the temperature resp. the resistance.
Please stop (enter 0) the motor when you're finished or simply log out.
4.Stopwatch:
Here you can stop the time to determine the excitation frequency
5.Snapshot:
Make highres stills of your current view
If you don't see any video or simply don't want to wait, you could have a look at some stills + videos of the certain baroclinic and barotropic modes

Abb. 3-10: Eingangsseite des aktiven Labors (im linken Frame die Steuerkonsole, rechts der zur variablen Anzeige dienende Hauptframe)

3.4.4.3 Die Laborfunktionalitäten

Die meisten der auf der linken Seite befindlichen Bedienungselemente verwenden ASP und funktionieren wie folgt:

1. Videostream

Der Benutzer kann Auflösung und Kompressionsgrad des Videostreams mit Hilfe eines Webformulars selbst wählen. Verfügt er über einen schnellen Internetanschluss, so hat er auch die Möglichkeit, bei hoher Auflösung und niedriger Kompression eine hohe Bildrate zu erzielen.
Beim Starten des Videostreams oder späterer Änderung werden die Daten an eine ASP-Seite (***set_video_cookies.asp***) per POST-Befehl gesendet, welche dann wiederum die Video-Cookies setzt (Abb. 3-11) und anschließend die Anzeigeseite für den Videostream aufruft.

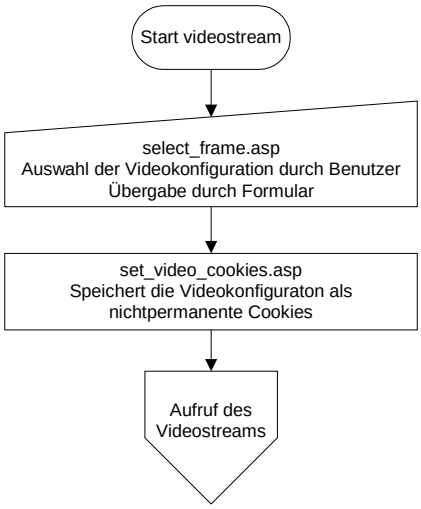


Abb. 3-11: Videostream-Setup

Bevor von dieser Seite jedoch ein für den Benutzer sichtbarer HTML-Code an den Browser zurückgegeben wird, erfolgt eine nochmalige Überprüfung, ob der Benutzer unter Umständen nicht alleine ist, damit eine gleichzeitige Steuerung ausgeschlossen werden kann. Weiterhin wird, sofern bereits eine Motorspannung gewählt worden ist, die daraus resultierende Periode T nach

$$T = e^{(5{,}7-1{,}1*\ln(U(Motor)[dV]))} \tag{3.1}$$

errechnet (Abb. 3-12). Darüber hinaus werden die Ausgabedaten des Java-Applet zum Anzeigen des Videostreams auf Basis der Video-Cookies angepasst (vgl. Kapitel 3.4.3).

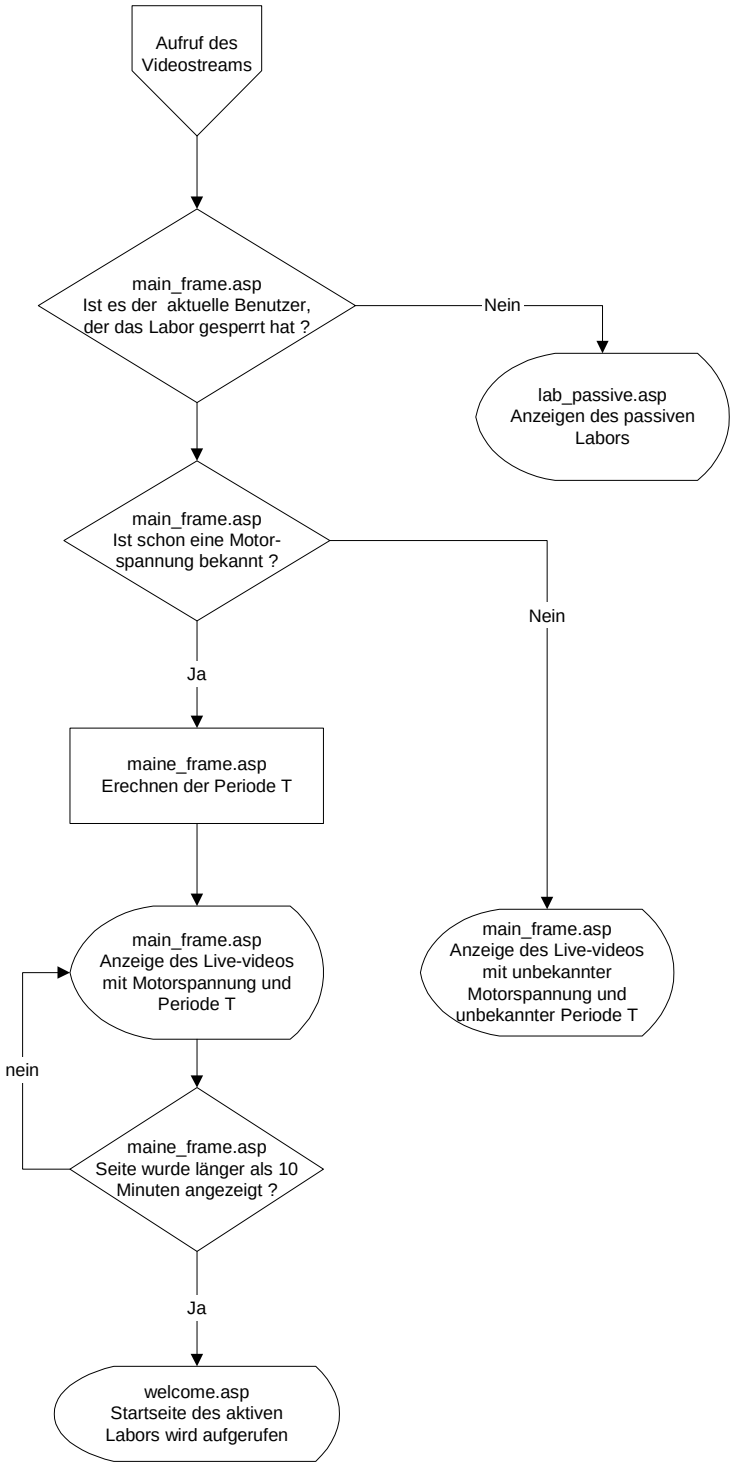

Aufruf des Videostreams
main_frame.asp Ist es der aktuelle Benutzer, der das Labor gesperrt hat ?
Nein
lab_passive.asp Anzeigen des passiven Labors
main_frame.asp Ist schon eine Motor-spannung bekannt ?
Nein
Ja
maine_frame.asp Erechnen der Periode T
main_frame.asp Anzeige des Live-videos mit Motorspannung und Periode T
main_frame.asp Anzeige des Live-videos mit unbekannter Motorspannung und unbekannter Periode T
nein
maine_frame.asp Seite wurde länger als 10 Minuten angezeigt ?
Ja
welcome.asp Startseite des aktiven Labors wird aufgerufen

Abb. 3-12: Aufruf des Videostreams

2. Stromquellenschaltung für Kamera und Licht (Cam & Light)

Nachdem der Videostream eingeschaltet wurde, wird lediglich ein schwarzes Bild als Video angezeigt. Das liegt daran, dass das Kameranetzteil und die Beleuchtung noch nicht mit Strom versorgt werden. Beim Klicken auf den On- bzw. Off-Schalter wird direkt ein CGI-Befehl per Link an den G-Webserver übermittelt (vgl. Kapitel 3.3).

3. Motorspannung (Motor voltage)

Die Geschwindigkeit des Motors und somit auch der Anregung bestimmt der Benutzer durch Eingabe einer ganzzahligen Motorspannung zwischen 30 und 260 dV. Abb. 3-13 zeigt wie nach Wahl der Spannung mit Hilfe von ASP der für die Kommunikation mit dem VI Control CGI von LabVIEW notwendige URL generiert und als globale Variable ***glvar_set_motor*** gespeichert wird. Im unsichtbaren frame ***drehzahl.asp*** wird dieser sogleich aufgerufen. Diese Vorgehensweise ist zwar kompliziert, zeigt aber, wie man mit der Programmierung von dynamischen Webseiten die Kommunikation mit anderen Applikationen erleichtern kann.

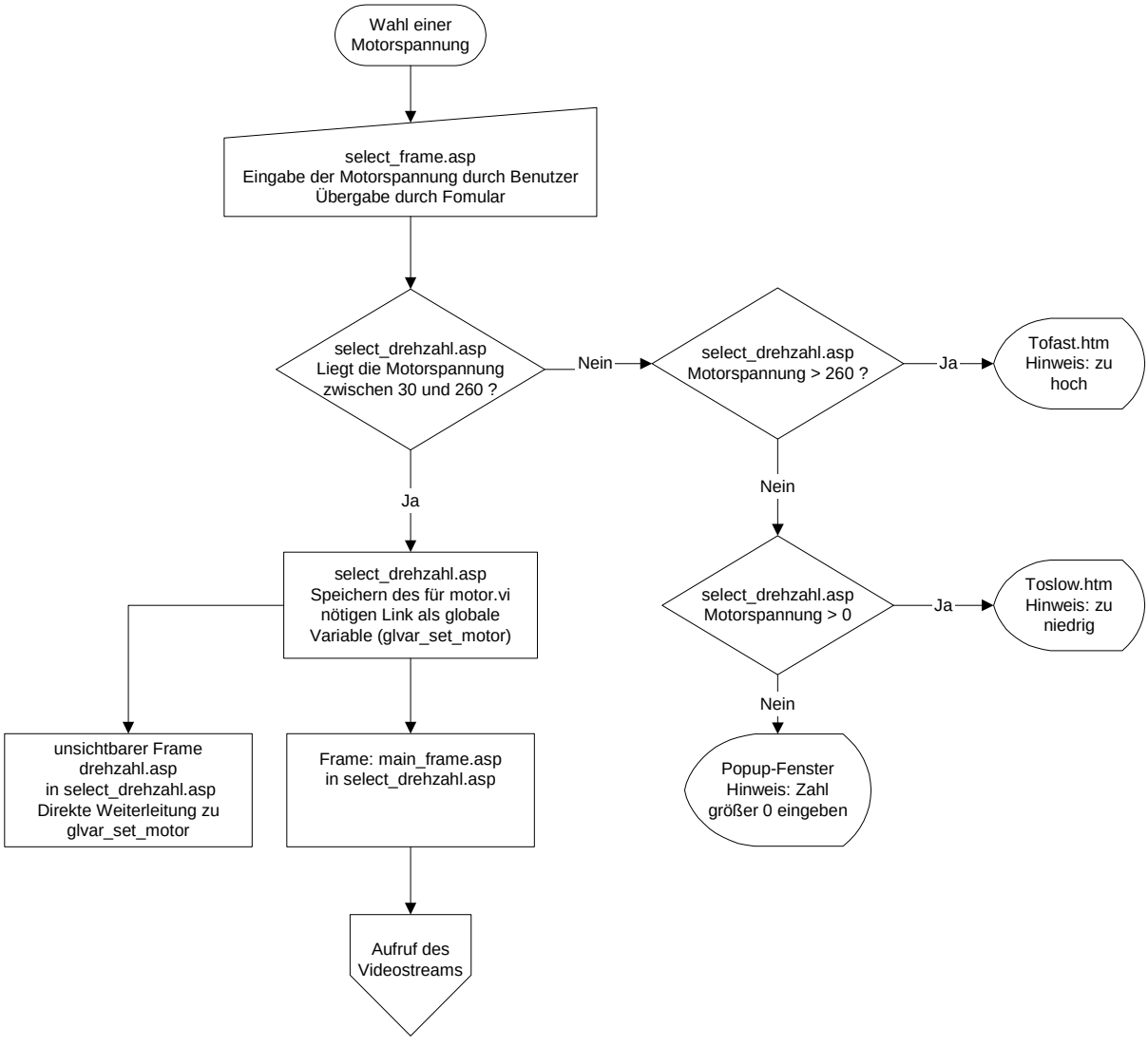


Abb. 3-13: Auswahl der Motorspannung

Nichtnummerische Zeichen oder Fließkommazahlen werden mit Hilfe von Frontpage-Webbots[19] bei der Eingabe abgefangen, und der Benutzer wird durch ein Pop-Up-Fenster darauf hingewiesen. Dies wird in Abb. 3-13 nicht dargestellt.
Nach dem Absenden von z.B. 57 dV, stellt sich dem Benutzer der Bildschirm wie in Abb. 4-2 dar.

4. Stoppuhr (stopwatch)

Die Stoppuhr dient der Überprüfung der aus der Motorspannung errechneten Periode. Dies ist leider nötig, da der Motor je nach Laufzeit unterschiedlich warm ist und daher aufgrund des geringeren Widerstands bei höheren Temperaturen schneller dreht. Der in Gleichung (3.1) angegebene Zusammenhang ist nur eine auf einer Regression über eine Messreihe beruhende Näherung. Die Stoppuhrfunktionalität erledigt ein kleines clientseitiges Javascript.

5. Snapshot

Mit dieser Funktion lassen sich Standbilder machen. Dabei stehen wie bei der Auswahl des Videostreams verschiedene Auflösungen und Kompressionsstufen zu Verfügung. Die Auswahl erfolgt wieder über ein HTML-Formular. Die Ergebnisse werden mit der Methode POST an ***snapshot_frame.asp*** im Hauptframe (rechts) geschickt. Die ASP-Seite erzeugt aus den Formulardaten dynamisch eine HTML-Seite, in die das entsprechende Standbild eingebettet ist (vgl. Kapitel 3.4.3). Als Skriptsprache kommt hier ausnahmsweise JavaScript zum Einsatz.

Logout

Um das Labor betreten zu können, muss es entsperrt sein. Dies kann auf zwei Arten geschehen. Entweder die Session des aktuellen Benutzers läuft nach 10 Minuten aus, d.h. der Benutzer hat über einen Zeitraum von 10 Minuten keinerlei Anfragen an den Webserver gestellt, oder der aktuelle Benutzer loggt ordnungsgemäß aus. Dies ist durch einen einfachen Klick auf den rotunterlegten Link *Logout* im oberen Bereich des linken Frames möglich. Abb. 3-14 zeigt was daraufhin geschieht.

[19] kleine automatisch eingefügte clientseitige Skripts

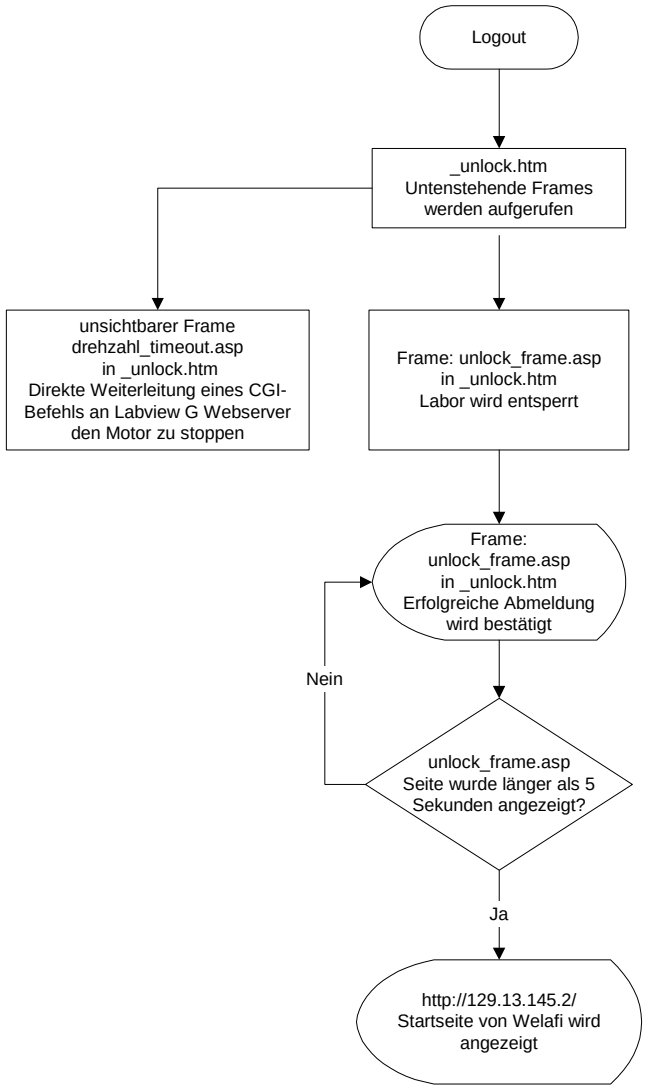


Abb. 3-14: Logout-Vorgang

Help

Mit dem Aufruf von dem grünhinterlegten Link *Help* erhält der Benutzer die Benutzungshinweise zu den oben beschriebenen Bedienungselementen.

4 Versuchsdurchführung

Dieses Kapitel soll zeigen, inwieweit die theoretischen Ansätze (vgl. Kapitel 2.2.3) im vorliegenden Labor praktisch angewandt werden können und wie eine typische Versuchsdurchführung im web-basierten Labor für Grenzflächenwellen abläuft.

4.1 Ermittlung der Periode

Um die Perioden T für die verschiedenen internen und externen Moden stehender Wellen zu ermitteln, besteht nach dem Lösen der im Grundlagenkapitel 2.2.3 hergeleiteten Bestimmungsgleichungen auch die Möglichkeit, durch bloße Betrachtung und Ausprobieren, diese Perioden experimentell zu verifizieren. Dies ist eine wichtige Aufgabe des vorliegenden Versuchsaufbaus.

Dabei dienen die theoretisch ermittelten Perioden zunächst als erste Orientierung. Sie bilden den jeweiligen Startwert für die anschließende schrittweise Anpassung der Anregungsfrequenz im Labor durch die Änderung der Motorspannung. Der Startwert lässt sich nach Umstellung von Gleichung (3.1) mit

$$U_{Motor,Start} = e^{5,2-0,9\ln T_{theor.}} \tag{4.1}$$

nur in etwa abschätzen (vgl. Seite 41).

Bei der Anpassung orientiert man sich an den maßgeblichen Kriterien der stehenden Muster von Wellen. Als erstes Kriterium muss die Amplitude für die jeweilige Mode maximal werden. Nur bei kurzzeitiger exakter Überlagerung der beiden fortschreitenden Wellen, werden die Amplituden des stehenden Wellenmusters durch Superposition doppelt so hoch wie die der fortschreitenden Wellen. Zur Ermittlung der passenden Periode müssen deshalb auch Motorspannungen leicht ober- und unterhalb des Startwertes untersucht werden.

Das zweite Kriterium, welches dabei hilft, sind die für stehende Wellenmuster typischen Knoten, an denen sich die Amplituden zu jeder Zeit aufheben, d.h. $\eta\left(x_{Knoten},t\right)=0$ und es deshalb so aussieht, als würden sich diese Knoten nicht bewegen.

4.2 Erste Erkenntnisse aus der Versuchsdurchführung

In Tabelle 4-1 bzw. Abb. 4-1 sind die Ergebnisse der theoretischen Berechnungen und der praktischen Messungen dargestellt.

	$T_{praxis,n}$ [s]	$T_{theor,Flw,n}$ [s]	Abweichung, *mit* Flachwassernäherung $\Delta T_{theor,Flw,n} - T_{praxis,n}$ [%]	$T_{theor,n}$ [s]	Abweichung, *ohne* Flachwassernäherung $\Delta T_{theor,n} - T_{praxis,n}$ [%]
interne Moden					
1	6,33	**7,01**	**10,7%**	7,17	13,3%
2	3,55	**3,50**	**-1,3%**	3,82	7,5%
3	2,52	**2,34**	**-7,3%**	2,77	9,7%
externe Moden					
1	1,29	1,09	-15,5%	**1,41**	**9,6%**
2	0,71	0,55	-23,2%	**0,71**	**-0,5%**

Tabelle 4-1: Abweichungen der theoretischen Berechnungen von den praktischen Messungen

Die Messungen wurden bei einer Temperatur des Silikonöls von $T = 20,5°C$ durchgeführt. Die mittlere Länge des Beckens wird zu $L = 71\ cm$ angenommen. Dies ergibt sich aus dem Innenmaß des Beckens (75 cm) und der maximalen Breite des Wellenerzeugungskörpers (3,9 cm). Zwar ist der Körper etwa 1 cm von der Wand entfernt, allerdings gilt seine maximale Breite auch nur für den mittleren 2 cm hohen Abschnitt (vgl. Abb. 3-3). Die Berechnungen beruhen auf folgenden weiteren Eingangswerten:

Fluid	dem. Wasser	Silikonöl M3	Einheit
Schichtdicke h	8	9,3	[cm]
Temperatur	20,4	20,4	[°C]
Dichte ρ	998,2	905,5	[g/cm³]

Zur Berechnung der theoretischen Periode mit Flachwassernäherung ($T_{theor,Flw,n}$) dient für die internen Moden Gleichung (2.25) und für die externen Moden Gleichung (2.15). Ohne Berücksichtigung der Flachwassernäherung ($T_{theor,n}$) erfolgt die Berechnung mit Gleichung (2.24) für interne und mit Gleichung (2.13) für externe Moden.

Vergleicht man die experimentell bestimmten Perioden mit den theoretischen Werten, so kann für die zweite interne und externe Mode von einer guten Übereinstimmung mit den experimentellen Messungen gesprochen werden, da die Abweichung jeweils kleiner als 2% ist. Für die anderen Moden sind die Abweichungen deutlich höher (> 7%).

Um die Ursachen dafür zu finden, muss untersucht werden, welche vereinfachenden Annahmen der theoretische Ansatz macht, welchen Einfluss die Randbedingungen am Versuchsstand darauf haben und inwieweit Messfehler eine Rolle spielen.

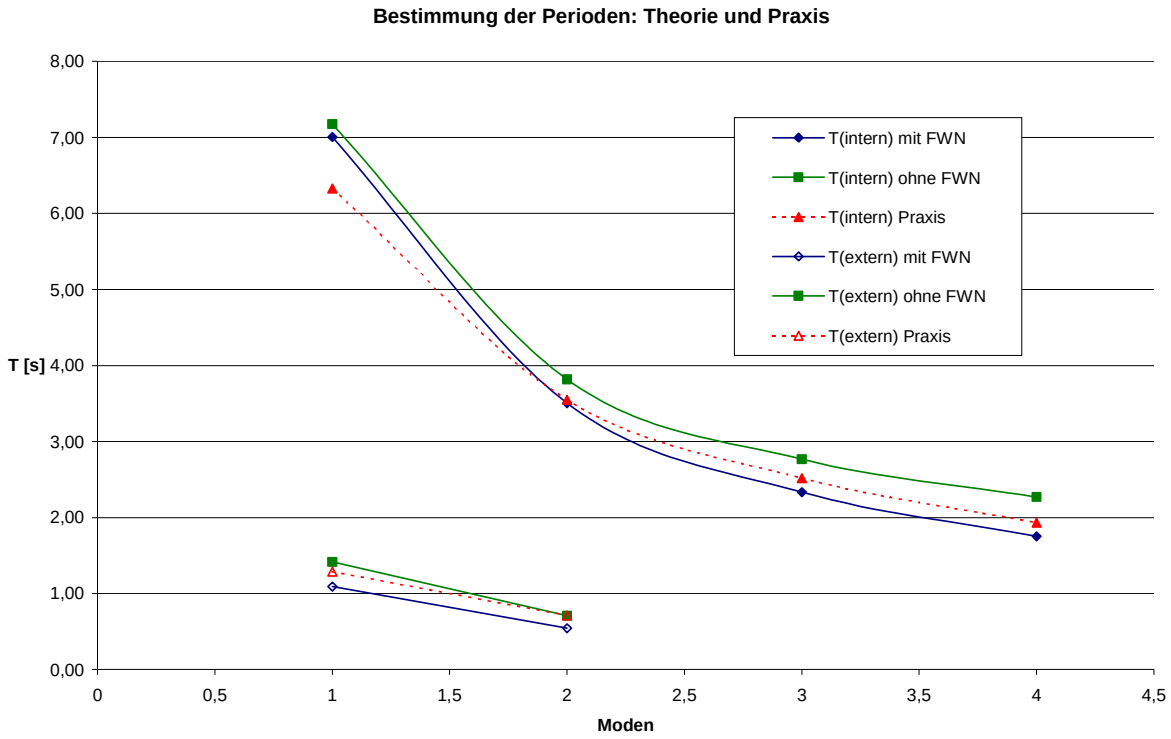


Abb. 4-1: Vergleich der theoretischen Perioden *mit* und *ohne* Flachwassernäherung mit den im Labor gemessenen Werten

Als wichtige vereinfachende Annahme der Theorie (vgl. auch Anhang B), deren Gültigkeit für das vorliegenden System untersucht werden muss, sind zu nennen:

1. Zum Lösen der Differentialgleichung in Anhang B wird die vertikale Geschwindigkeit an der oberen Berandung zu Null angenommen (*rigid lid approximation*).
2. Die Flachwassernäherung ist nicht immer gültig. Nach der Faustregel, Gleichung (2.14), kann sie im vorliegenden Fall für die externen Moden, mit $H = 17{,}3\ cm$ nicht angewandt werden, da die Bedingung für die Moden $n \leq 0{,}65$ wäre. Dass die Ergebnisse ohne Flachwassernäherung deutlich näher an den in der Praxis ermittelten Werten liegen, zeigt sich deshalb auch an den Ergebnissen in Abb. 4-1. Für die internen Moden ist nach der Faustregel die Flachwassernäherung nur für die erste Mode anwendbar ($n \leq 1{,}4$). Allerdings weichen die ohne Flachwassernäherung errechneten Perioden ebenso stark von den gemessenen Werten ab wie die mit Flachwassernäherung. So sieht man in Abb. 4-1, dass sich die Praxiswerte für n > 2 in einem Schlauch zwischen den beiden theoretischen Ansätzen befinden. Dieser Schlauch wird mit zunehmendem n breiter. Im Rahmen der in diesem Kapitel besprochenen vereinfachten Annahme der Theorie und der daraus resultierenden Fehler ist kein Trend zu einem der beiden Ansätze zu erkennen.

3. Die Viskosität des Silikonöls wird nicht berücksichtigt. Es ist jedoch anzunehmen, dass der Einfluss der Viskosität, insbesondere bei einer langsameren Anregung, d.h. einem niedrigen Energieeintrag in das System, eine Rolle spielt. Der relative Anteil an Dissipationsenergie, der dem System aufgrund der vorhandene Viskosität entzogen wird, wird dann verhältnismäßig groß. Dies zeigt sich offenbar auch in Abb. 4-1 für die interne Mode n < 2, da hier der am Modell ermittelte Wert weit unter beiden theoretischen Ansätzen liegt.
4. Es wird angenommen, dass es sich bei den vorliegenden Wellen um lineare Wellen mit kleiner Amplitude handelt ($a/\lambda \ll 1$). Diese Annahme kann für $n \leq 3$ auch eingehalten werden.
5. Im Rahmen der Boussinesq-Näherung wird lediglich mit ρ_0 gerechnet.
6. Die Betrachtung ist auf 2-D beschränkt, obwohl es mindestens drei Gründe gibt, weshalb diese Vereinfachung zu spürbaren Fehlern führen könnte:
    a. In der theoretischen Annahme ist der Behälter unendlich breit. Tatsächlich ist er nur 10 cm breit. Einflüsse durch an der Wand haftende Fluidteilchen oder Reflektionen sind möglich.
    b. Die Oberflächenspannung wird vernachlässigt, obwohl ihre Einflüsse, aufgrund des relativ kleinen Behälters sowie die Verwendung eines Öls mit einer deutlich niedrigeren Oberflächenspannung (19-21 mN/m) als der von Wasser (73 mN/m), noch deutlich sichtbar sind.
    c. Bei hohen Drehzahlen zeigen sich deutliche 3-D-Effekte, da nun auch das System in der Breite (d.h. $l = 10$ cm) zu internen Moden angeregt wird, und zwar für Perioden T < 1s.

Mögliche Fehlerquellen in Zusammenhang mit dem Aufbau des Versuchsstands:

1. Der Wellenerzeugungskörper verdrängt je nach Eintauchtiefe unterschiedlich viel Wasser bzw. Öl. Die Dicke der Schichten variiert deshalb ständig, wenn auch nur geringfügig.
2. Der Elektromotor läuft abhängig von der Temperatur unterschiedlich schnell. Erst nach einem längeren Betrieb (> 15 min) läuft er mit einer konstanten Drehzahl. Daraus resultiert einer der größten Fehler in der Messung.

Weiterhin können Fehler bei der Zeitmessung auftreten, die aber im Allgemeinen nach wiederholten Messungen und statistischer Mittelung vernachlässigt werden können.

4.3 Szenario für einen studentischen Laborversuch

Im Rahmen einer Laborübung sollen Studenten die Perioden der ersten drei internen und der ersten zwei externen Moden *mit* und *ohne* Flachwassernäherung berechnen und dies später im Labor überprüfen. In Abschnitt 4.4 sind Standbilder dieser Moden dargestellt.

Für die Vorbereitung des Laborversuchs findet der Student auf der *Welafi*-Website unter ***for students*** alle benötigten Grundlagen, Informationen und Materialien.

Nachdem er diese durchgearbeitet hat, widmet er sich dem Bereich ***prelab***, wo er die gezielte Vorbereitung auf den Laborversuch beginnt. Dort kann er sich das ***lab data sheet*** mit allen aktuellen Eckdaten des Versuchs und das ***prelab.pdf*** (siehe Anhang F) ausdrucken.

Nach der Lösung der im *prelab* gestellten Aufgaben kennt der Student nun die erforderlichen theoretischen Werte für die Perioden und ist nun in der Lage, den Laborversuch zu starten.

Hier soll nun in neun Schritten exemplarisch gezeigt werden, wie der Student die von ihm im *prelab* für die zweite interne Mode errechnete Periode im Labor auf ihre Gültigkeit hin überprüft.

Nach Betreten des Labors durch den Link ***enter the lab*** geht der Student wie folgt vor.

1. Er startet den Videostream mit ***start videostream*** und passt evtl. die Auflösung bzw. die Kompression an.
2. Mit ***Licht & Cam*** schaltet er die Kamera und das Licht an.
3. Aus der im Prelab bestimmten Periode (hier T = 3,45 s; der Student probiert zunächst den einfacheren Ansatz mit Flachwassernäherung), errechnet er die erforderliche Motorspannung (hier 58,3 dV) mit Hilfe von Gl. (3.1).
4. Er gibt die Motorspannung als integer ein, hier 58 dV. Der Student sieht nun den in Abb. 4-2 dargestellten Bildschirm. In der oberen Hälfte kann er die aktuell von ihm gewählte Videokonfiguration und Motorspannung ablesen. Weiterhin wird zur Kontrolle die entsprechende Periode T errechnet und angezeigt. Dieser Wert basiert auf einer Gleichung, die durch eine Regression, über zahlreiche Messungen der Motorspannungen mit anschließendem Vergleich mit der Periode T, bestimmt wurde. Er kann nur ungefähr angegeben werden, da der Motor erst nach einer gewissen Warmlaufzeit eine konstante Umdrehung liefert (vgl. Punkt 4 im Kapitel 3.4.4.3).
5. Der Student betrachtet das Wellenmuster und erkennt deutlich, dass es sich um die gesuchte zweite interne Mode handelt, da das Wellenmuster zwei Knoten aufweist, die sich nicht bewegen.

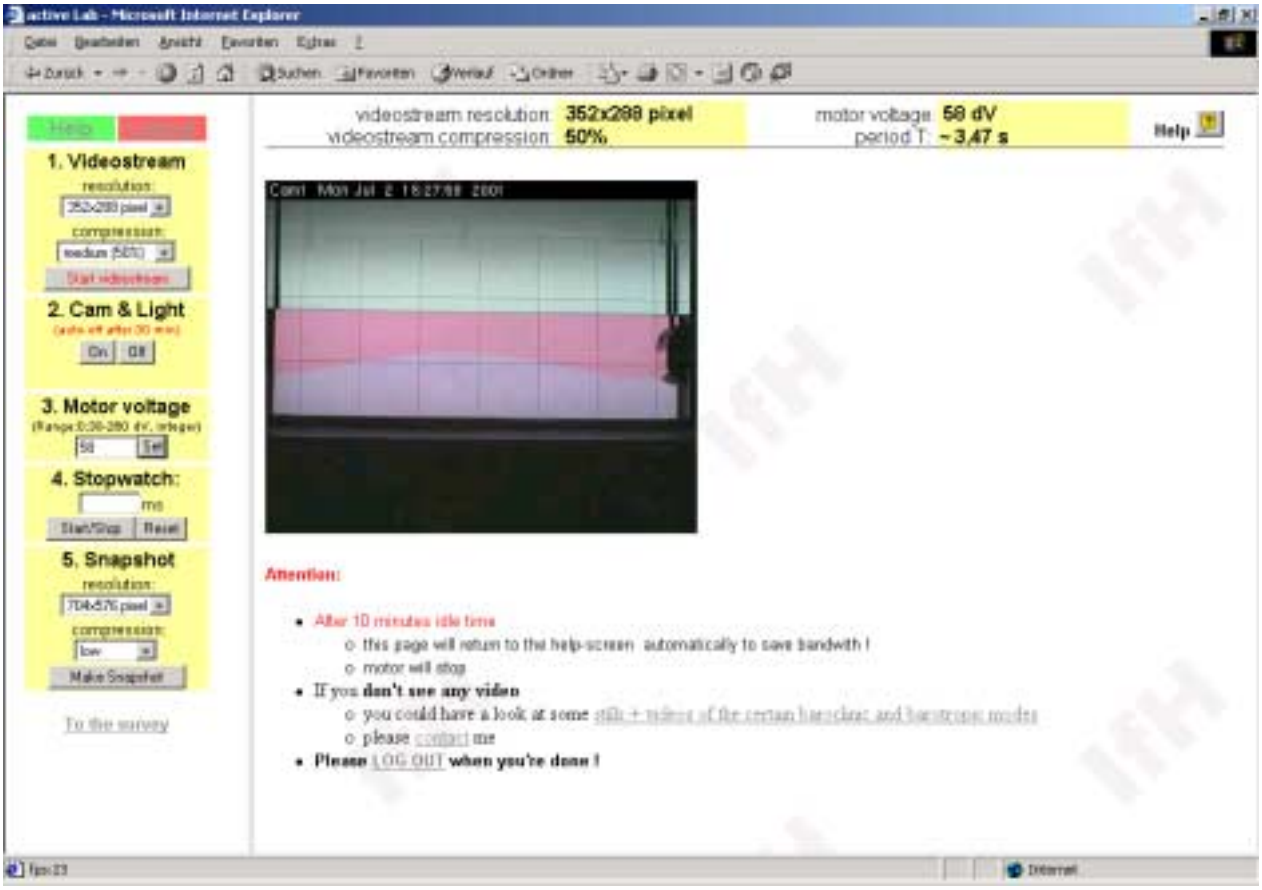

videostream resolution 352x288 pixel
videostream compression 50%
motor voltage 58 dV
period T ~3,47 s
Help
1. Videostream
2. Cam & Light
3. Motor voltage
4. Stopwatch:
5. Snapshot
Attention:
After 10 minutes idle time
this page will return to the help-screen automatically to save bandwith !
motor will stop
If you don't see any video
you could have a look at some
please contact me
Please LOG OUT when you're done !

Abb. 4-2: *Welafi*-Steuerkonsole mit Videodarstellung

6. Um zu testen, ob benachbarte Spannungen eine höhere Amplitude ermöglichen, erhöht der Student zunächst die Motorspannung um 1 dV auf 59 dV. An der niedrigeren Amplitude erkennt er, dass er sich von einer kurzzeitigen exakten Überlagerung der zwei fortschreitenden Wellen wegbewegt.
7. Er probiert daher nun 57 dV aus. Die Amplitude ist höher.
8. Bei dem Versuch, einer weiteren Erhöhung der Amplitude durch die Einstellung auf 56 dV, stellt er fest, dass sich die Knoten leicht bewegen; in dem Wellenmuster ist eine geringfügig fortschreitende Welle zur erkennen. Um dies zu genau zu betrachten, macht er mehrmaligen Gebrauch von der Standbild-Funktion (***snapshot***). Auf den hochaufgelösten Standbildern mit geringer Kompression kann er die Details besser erkennen.
9. Wegen der bekannten Ungenauigkeit des Motors (siehe Punkt 4), überprüft der Student die Periode für 57 dV noch einmal mittels einer Stoppuhr (in der Steuerkonsole unter Punkt 4). Um den Start- und Stopppunkt bei der Stoppuhrmessung gut zu treffen, gibt es eine Vorrichtung, die ihm bei einer genauere Zeitmessung unterstützt. An der Stange, die mit dem Anregungskörper verbunden ist, ist ein Plexiglasarm mit einem dünnen waagerechten schwarzen Strich angebracht. Dieser kommt zweimal pro

Periode mit einem ebensolchen Strich eines Gitternetzes, das auf der Beckenvorderseite angebracht ist, zur Deckung.

Dennoch misst der Student zweimal über mehrere Zyklen, um Messfehler statistisch zu minimieren. In zwei aufeinanderfolgenden Messungen über 10 Zyklen misst er hier 35,05 und 35,08 s. Daraus ergibt sich für die zweite interne Mode tatsächlich eine Periode von 3,51 s, die mit einem Unterschied von nur 1,6 % gut mit dem übereinstimmt, was die Theorie mit 3,45 s voraussagt.

Die hier präsentierte Vorgehensweise ist nur ein Vorschlag. Selbstverständlich kann dies aus didaktischen oder sonstigen Gründen im Rahmen der Möglichkeiten, die *welafi* bietet, vom Dozenten angepasst werden.

4.4 Standbilder der verschiedenen Moden

Abb. 4-3: Standbild der ersten baroklinen Mode

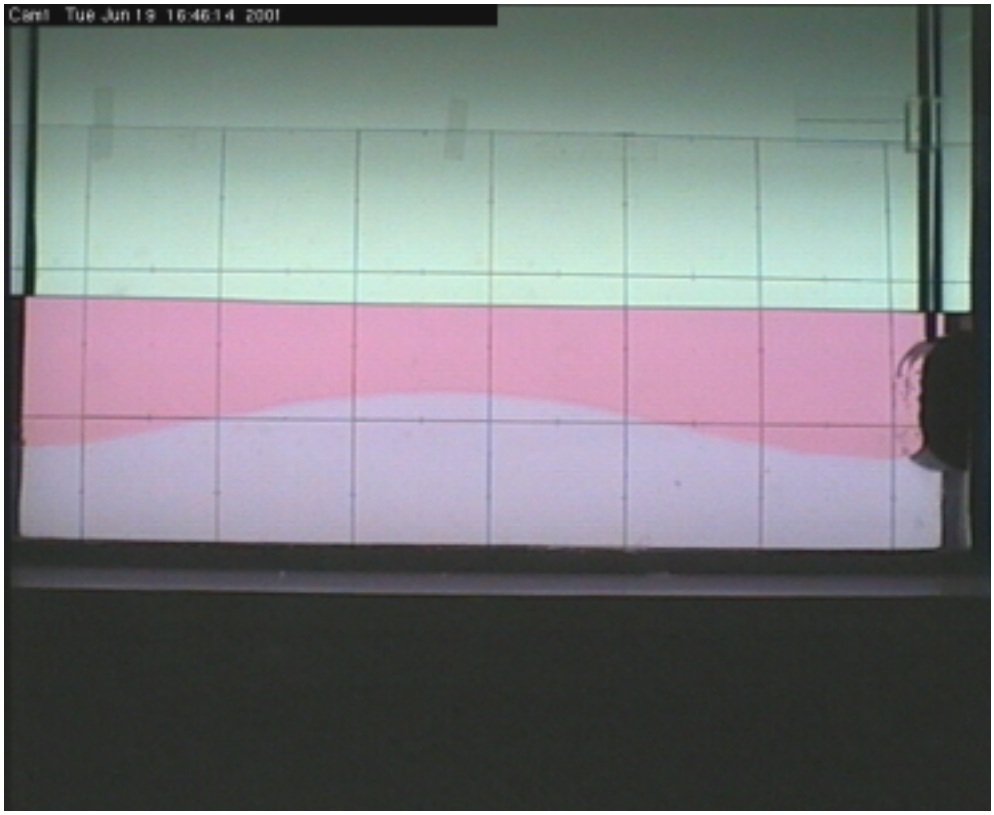


Abb. 4-4: Standbild der zweiten baroklinen Mode

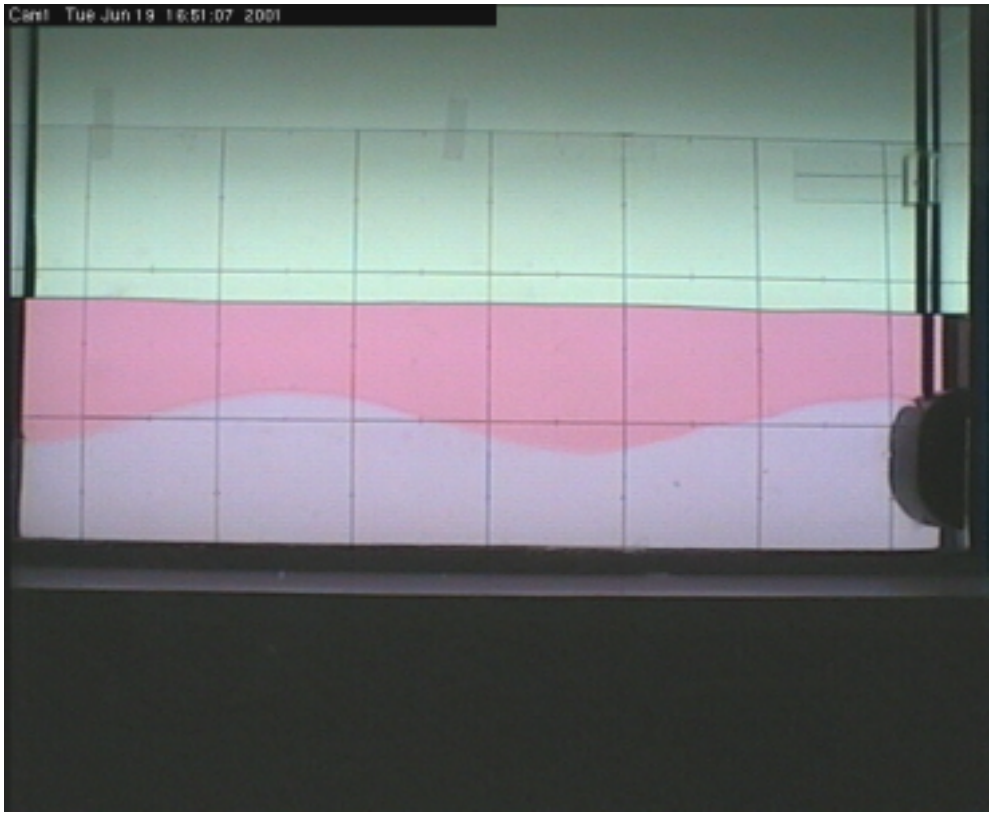


Abb. 4-5: Standbild der dritten baroklinen Mode

Abb. 4-6: Standbild der ersten barotropen Mode

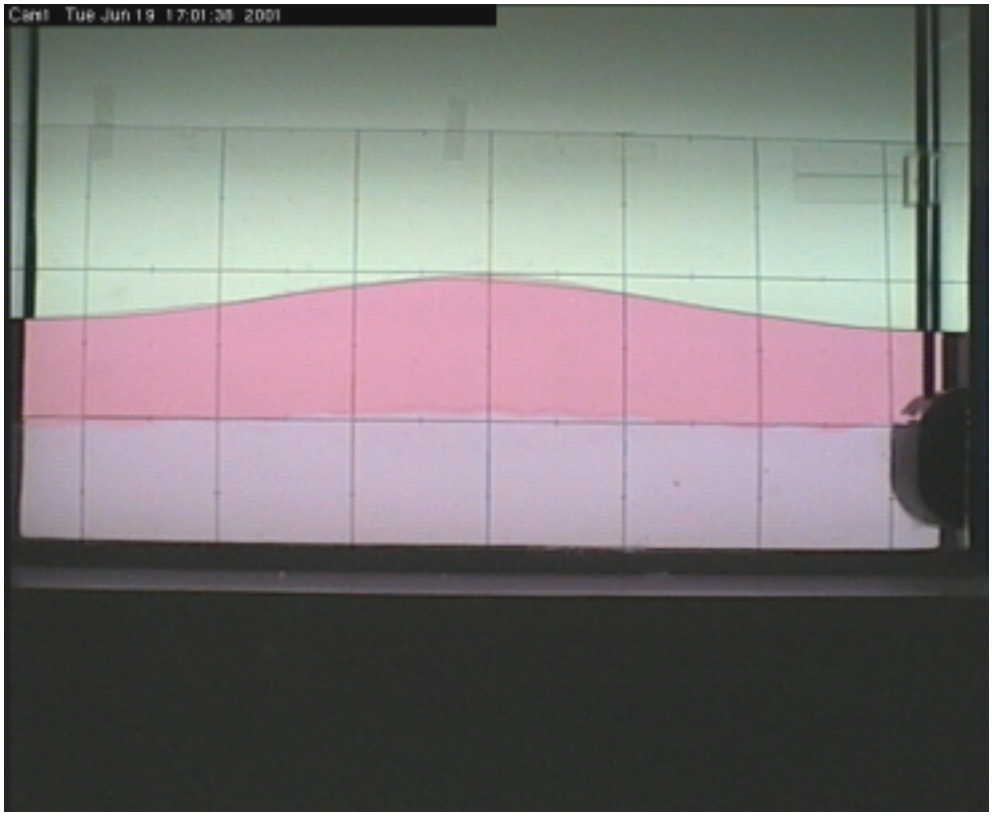


Abb. 4-7: Standbild der zweiten barotropen Mode

5 Zusammenfassung und Ausblick

Auf Basis einer Webapplikation sollte im Rahmen der vorliegenden Arbeit eine Plattform zur Steuerung eines hydromechanischen Versuchsstands über das Internet entwickelt werden.
Vier wichtige Merkmale waren maßgebend für dieses web-basierte Labor.

1. Der zu betreibende, real existierende Versuchsstand sollte durchgängig automatisiert sein, so dass ein Betrieb rund um die Uhr ohne manuelle Eingriffe möglich ist.
2. Zur visuellen Überwachung des Versuchs sollte eine Technik eingesetzt werden, die eine schnelle und ruckelfreie Übertragung eines Live-Videobildes ermöglicht.
3. Zielgruppe dieses web-basierten Laboratoriums sind nationale und internationale Studenten und Dozenten der Fluidmechanik. Neben der Entwicklung des eigentlichen Laborbereichs erforderte dies eine didaktische Aufbereitung des entsprechenden Lehrstoffs mit zeitgemäßen, im Web einsetzbaren Mitteln.
4. Ferner sollte bei der Konzeption der interaktiven Website auf nicht gängige Webtechnologien verzichtet werden. Für den Zugriff sollte ein gewöhnlicher Webbrowser genügen.

Mit dem *web based lab for interfacial waves*, kurz *welafi* kann nun unter der Internet-Adresse ***http://beam.to/welafi*** eine Lösung präsentiert werden, die diese Kriterien voll erfüllt.

Die mit LabView umgesetzte Automatisierung des Versuchsstands ist mit einfachen Mitteln erfolgreich realisiert worden und läuft äußerst stabil. Die aufgetauchten Probleme bei der Verwendung des LabVIEW G Webserver CGIs konnten mit dem Einsatz der Active Server Pages (ASP) effektiv gelöst werden. Besonders bei der Zugangskontrolle zum Labor, welche die gleichzeitige Versuchssteuerung mehrerer Benutzer verhindert, konnte ASP als serverseitige Skripting-Technologie den interaktiven Ansprüchen von *welafi* gerecht werden.
Mit dem Axis Videoserver wurde für die Bildübertragung vom Versuchsstand auf eine sehr leistungsfähige Technik gesetzt. Die Stand-alone Lösung besticht durch eine einfache Installation und Konfiguration, durch ihre enorme Zuverlässigkeit und besonders durch die für das Videostreaming erforderlichen hohen Bildraten.
Zur Einbindung von *welafi* in eine Lehrveranstaltung, wurde eine Webpräsentation entwickelt, welche den studentischen Nutzer durch die Vorbereitung und Durchführung eines Experiments am Versuchsstand führt. Die theoretischen Grundlagen zum Verständnis von stehenden Grenzflächenwellen werden bereitgestellt und z.B. mit Hilfe von Animationen und Java-Applets anschaulich vermittelt. Während der Entwicklung von *welafi* konnten durch

einen Betatest der Aufbau, die Struktur und die Funktionalität der Website erfolgreich an die Bedürfnisse der Zielgruppe angepasst werden.

Um einen **Ausblick** zu geben, wie der bestehende Versuchsaufbau weiter zu optimieren ist und welche Funktionalitäten noch in *welafi* implementiert werden sollten, wird nachfolgend eine Liste mit Vorschlägen präsentiert:

1. Die Anregungsfrequenz ist durch die starke Temperaturabhängigkeit des Elektromotors nicht konstant. Um zu jedem Zeitpunkt die aktuelle Periode ermitteln zu können, sollte ein Drehzahlmesser installiert werden, der in der Lage ist, die aktuellen Umdrehungswerte des Antriebs zu messen und an den Steuercomputer zurückzuliefern. Dieser kann die Daten dann für die Anzeige innerhalb der Webseite aufbereiten. Die aufwendige und mit Messfehlern behaftete Zeitmessung per Stoppuhr wird somit obsolet.
2. Eine weitere Messeinrichtung könnte in Form einer Temperaturmessautomatik, bestehend aus A/D-Karte und Thermometer, eingebaut werden, die eine ständige Übermittlung der Fluidtemperatur und damit der tatsächlichen Dichten auf der Website ermöglicht.
3. Für weiterführende Untersuchungen in einem bereits vorhandenen baugleichen zweiten Becken werden folgende Vorschläge gemacht:
    a) Evaluierung weiterer Anregungspositionen, um Vorteile und Unterschiede der Oberflächenanregung aufzuzeigen und zu nutzen. So wäre z.B. eine Anregung an der Grenzschicht Öl / Luft zu untersuchen.
    b) Untersuchungen mit anderen Fluiden sind denkbar. Es könnten so z.B. die unterschiedlichen Einflüsse der Viskosität und der Oberflächenspannung studiert werden.
    c) Optimierung des Anregungskörpers

    Für die Implementierung des zweiten Beckens in *welafi* bedarf es im Wesentlichen nur noch einer weiteren Videokamera.
4. Zur präzisen Darstellung der theoretischen Ansätze und zum Vergleich mit dem physikalischen Modell wäre als Ergänzung von *welafi* die Entwicklung eines nummerischen Modells und dessen animierte Darstellung wünschenswert, z.B. in Form eines Java-Applets. In diesem Modell könnten auch für den vorliegenden Modellversuch typische Randbedingungen Berücksichtigung finden, wie z.B. die Veränderung der Wassertiefen bei unterschiedlichen Körpereintauchtiefen.

5. Nicht immer kann eine schnelle Internetverbindung garantiert werden. Wenn der Benutzer von *welafi* über keinen Breitbandanschluss verfügt oder die Verbindung überlastet ist, sollte der Versuch dennoch durchführbar sein. Der Benutzer soll die Möglichkeit haben, eine selbst erstellte Videoaufzeichnung als Videodatei herunterzuladen. Weiterhin könnten auch Bildergalerien einzelner Live-Standbilder generiert werden. Somit lassen sich zwei weitere Feature des Videoservers nutzbringend einsetzen.
6. Für die Übertragung des Videostreams sollte neben der Java-basierten Darstellung alternativ auch ein ActiveX Plug-In angeboten werden, da es vereinzelt Benutzer gibt, die Java in ihrem Browser wegen Sicherheitsbedenken deaktiviert haben. Außerdem unterscheidet sich die Performance der beiden Technologien abhängig vom verwendeten Browser. Werden beide Alternativen angeboten, kann der Benutzer frei wählen.
7. Um sicherzustellen, dass die gesamte Zielgruppe uneingeschränkten Zugriff auf *welafi* hat, sollte die Anzahl der bereits über die Gebrauchsfähigkeit von *welafi* befragten Benutzer auf ein repräsentatives Maß erhöht werden, insbesondere durch Befragung ausländischer Website-Besucher.

Im Sinne von Tim Berners-Lee, dem Vater des WWW, präsentiert sich *welafi* als die erfolgreiche, nutzbringende und innovative Umsetzung einer wiederentdeckten Idee.
Welafi richtet sich an die ursprüngliche Zielgruppe des WWW, die Universitäten, welche sich u.a. durch solche Initiativen zum *web-based learning* trotz der fortschreitenden Kommerzialisierung im Netz wieder als ein wichtiger Innovationsmotor für die Entwicklungen im Internet positionieren können.
Wenn dieses Konzept erfolgreich ist, so wird in einigen Jahren eine Fülle von Laborversuchen in aller Welt den Studenten und Wissenschaftlern über das Internet zugänglich sein.
Zu jeder Zeit, von jedem Ort.

Literaturverzeichnis

AXIS COMMUNICATIONS (2000), *Datasheet of Axis 2400 Video Server*, <http://www.axis.com/documentation/datasheet/2400/ds2400_2401.pdf>, abgerufen am 24.11.2000.

AXIS COMMUNICATIONS (2001), *Axis 2400 Videoserver Firmware*, <http://www.axis.com/techsup/cam_servers/cam_2400/firmware_rc.asp>, abgerufen am 17.04.2001.

BAYER AG (1997), *Bayer Silicone Baysilone® Öle M*, S. 5.

GILL, ADRIAN E. (1982): *Atmosphere-Ocean Dynamics*, International Geophysics Series, Volume 30, Academic Press, S. 122.

JIRKA, G.H. (1999): *Vorlesungsunterlagen zu Environmental Fluid Mechanics II: Stratified Flow and Mixing Processes*, Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe, Ausgabe 1999.

KISTLER, ROBERT (2000), *Class Notes for Mixing & Waves in Aquatic Ecosystems*, Course BIO321, Fall 2000, Bethel College, St. Paul, Minnesota <http://www.bethel.edu/~kisrob/bio321/class_notes/mixing/mixing.htm> abgerufen am 14.2.2001.

KOSSEL, AXEL (2000): Internetzugänge im Vergleich, Flatrate und Highspeed-Alternativen. *C't Magazin für computer technik*, Heise Verlag, Ausgabe 21, S. 102-104.

LINDNER, HELMUT (1993): Physik für Ingenieure, Fachbuchverlag Leipzig, 14. Auflage, S. 177-190.

LOVISCACH, JÖRN (2000): Video-Übertragung per Internet. *C't Magazin für computer technik*, Heise Verlag, Ausgabe 6, S. 154-166.

LOVISCACH, JÖRN (2001): Die elektronische Uni, Neue Medien in der Lehre. *C't Magazin für computer technik*, Heise Verlag, Ausgabe 4, S. 108-115.

MÖCKE, FRANK (2001): Lernen und Experimentieren. *C't Magazin für computer technik*, Heise Verlag, Ausgabe 8, S. 65.

PUSCHER, FRANK (2000): Codec-Mania. *internet world*, Neue Medien Gesellschaft Ulm mbH, Ausgabe 3, S. 82-84.

NATIONAL INSTRUMENTS (2000), *LabVIEW Benutzerhandbuch, Veröffentlichen von vi's im Web*. Ausgabe September 2000, S. 17-10 f. .

NATIONAL INSTRUMENTS (2001), *Internet Developer Toolkit for G.* <http://www.ni.com/labview/internet/> abgerufen am 10.01.2001.

SCHLEDE, FRANK-MICHAEL (2000), Web-Cams: Live auf Draht, für jeden Zweck die richtige Technik, *Network World*, Computerwoche Verlag GmbH, München, Ausgabe 4, S. 48-49.

SOCOLOFSKY, SCOTT (2001): *Vorlesungsunterlagen zu Environmental Fluid Mechanics II: Stratified Flow and Mixing Processes*, Institut für Hydromechanik, Universität Karlsruhe, Ausgabe 2001.

WELTNER, TOBIAS (1999): *Active Server Pages lernen und beherschen*. Microsoft Press.

ZIERL, MARCO (2001): Dynamische Websites entwickeln. *Internet Professionell*, VNU Business Deutschland GmbH, Ausgabe 5, S. 41-45.

Nachschlagewerke

Brockhaus - Die Enzyklopädie in 24 Bänden, F.A. Brockhaus GmbH, Leipzig – Mannheim, 20., neu bearbeiteten Auflage 1996-1999

Das M+T Computerlexikon 2001, erschienen im Oktober 2000, Verlag Markt+Technik, München

DIN 66001 (1983). *Sinnbilder und ihre Anwendung.* Normenausschuss Informationsverarbeitungssysteme im DIN Deutsches Institut für Normung e.V., Beuth Verlag, Berlin

Encyclopaedia Britannica, <http://www.britannica.com>, abgerufen am 4.3.2001

KUČERA, ANTONIN (1989), *Compact Wörterbuch der exakten Naturwissenschaften und der Technik, Band I, Englisch-Deutsch*, Brandstetter Verlag, Wiesbaden, zweite, vollkommen überarbeitete und erweiterte Auflage 1989

Anhang A Material und Bezugsquellen

1) **Axis-Videoserver 2400**

   Bezugsquelle: Fa. Seetec Communications GmbH&Co. KG, Friedrich-Hecker-Allee 3, 68753 Waghäusel, Tel. 07254-93620-0, http://www.seetec.de

2) **Glasbehälter:**

   Innenmaße: 75x10x50 cm, Glasdicke: 1 cm

   Bezugsquelle: Fa. E. Bechthold, Hauptstr. 137b, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

   Ansprechpartner: Herr B. Hassendt, Tel.: 0721-787530, Fax: 0721-700208

3) **Silikonöl M3, Färbemittel**

   25 kg Baysilone Öl M3, vordispergierte Farblösung aus roten Blattläusen

   Bezugsquelle: Kurt Obermeier GmbH&Co. KG, Postfach 1560, 57305 Bad Berleburg

   Ansprechpartner: Herr Freist, Tel: 02751/524139

4) **Antriebstechnik, regelbares Netzteil, Relaiskarte**

   Bezugsquelle: http://www.conrad.de

   - Zahnriehmenscheibe 15XL, BestellNr.: 226017-62
   - Zahnscheibe 20 BestellNr.: 226033-62
   - Zahnriemen 150 BestellNr.: 226084-62
   - VDO Motor M28x40S BestellNr.: 242845-62
   - Getriebe 96:1 BestellNr.: 241148-62
   - Progr. Netzgerät Digi 35 CPU BestellNr.: 512982-62
   - Relaiskarte 8fach seriell BestellNr.: 967720-62

Anhang B Bounded interfacial waves

In order to understand the physics of internal waves we must first derive and comprehend its governing equations. This follows the derivation by Socolofsky [2001].

In this paper periodic motions in stratified fluids will be considered. As with unstratified systems, waves can be present on any free surface. Unique to stratified systems, however, isopicnals (lines of constant density) may also exhibit wave-like motions. Such wave-like motions in continuously stratified systems are called *internal waves*. Internal wave-like motions in layered systems (where the density gradient jumps between the layers and is constant within a layer) are called *interfacial waves*.

At this point we will examine interfacial waves since they are easier to study mathematically and since they still remain a good model of the density structure in many natural environments (e.g. lakes, reservoirs, estuaries and oceans). In the following we present the analysis for a bounded domain which will lead us to the dispersion relation for interfacial waves.

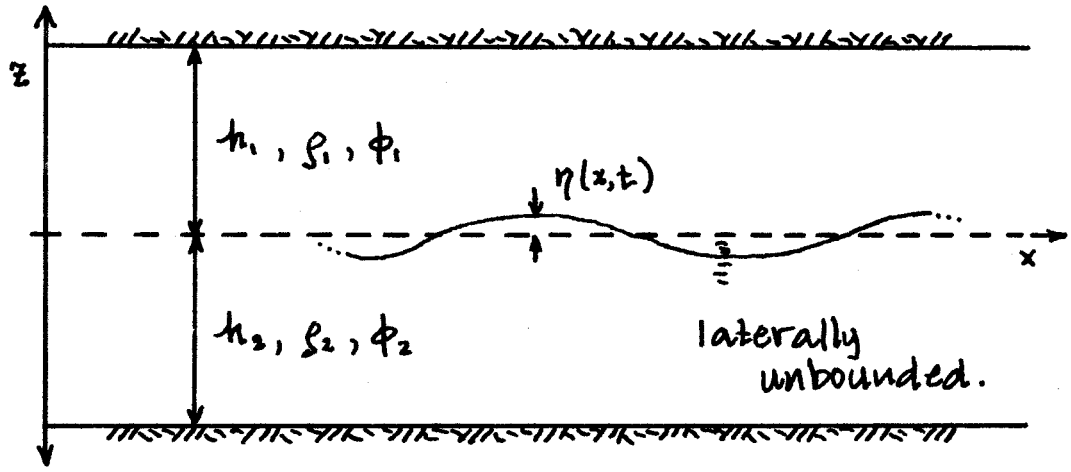


Figure 1: Stratified and bounded two-layer sytem (Socolofsky, 2001)

We want to consider a stratified, two-layer, bounded system as it is shown in Figure 1. For our analysis we have to make the following simplifying assumptions:

1. The two fluids are immiscible, so that an interface is existing
2. Both the upper and lower boundaries are rigid
3. Inviscid analysis is applicable, i.e. $\nu \to 0 \Rightarrow \mathrm{Re} = \frac{v \cdot L}{\nu} \to \infty$
4. The flow within each layer is irrotational

5. The interfacial waves are small amplitude linear waves (this assumption is elaborated further in the derivation of the boundary conditions)
6. The analysis will be 2-D, thus $\nabla = \left(\frac{\partial}{\partial x}, \frac{\partial}{\partial z} \right)$

If a flow is irrotational (Ass.#4), it can be described with velocity potential Φ. An example for a velocity potential is a simple shear flow where $\vec{u} = (u, 0) \rightarrow \phi = ux$.

In our 2-D case the velocities are given by

$$u = \frac{\partial \phi}{\partial x}, w = \frac{\partial \phi}{\partial z} \tag{2}$$

whereas u is the horizontal velocity and w is the vertical velocity.

Writing down the *general equation for mass conservation*,

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \bullet (\rho \vec{u}) &= 0 \\ \frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{u} \nabla \rho + \rho \nabla \vec{u} &= 0 \\ \underbrace{\frac{\partial \rho}{\partial t} + u \frac{\partial \rho}{\partial x} + w \frac{\partial \rho}{\partial z}}_{= 0 \text{ (incompressible fluid)}} + \rho \frac{\partial u}{\partial x} + \rho \frac{\partial w}{\partial z} &= 0 \end{aligned} \tag{3}$$

and considering the fluids to be incompressible, it leads us to the *continuity equation*

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \tag{4}$$

Substituting (2) in (4) gives us a two-dimensional partial differential equation or the so-called *laplace equation*

$$\frac{\partial^2 \phi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi}{\partial z^2} = 0 \tag{5}$$

which you may have encountered previously as a special case of the heat equation. We define independent velocity potentials for each layer; thus our governing equations are

$$\frac{\partial^2 \phi_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_1}{\partial z^2} = 0 \tag{6}$$

$$\frac{\partial^2 \phi_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \phi_2}{\partial z^2} = 0 \tag{7}$$

To solve these two partial differential equations, we first have to specify several boundary and initial conditions. Since our governing equations are second order in two spatial coordinates, we have four boundary conditions in each layer for a total of eight boundary conditions. Four of the boundary conditions (two in each layer) are the so-called behavioral boundary condi-

tions: *the solution must be periodic in space and time*. This condition is satisfied implicitly by selecting a periodic general solution $\eta(x,t)$.

Two boundary conditions are obtained from the bounded domain: *the vertical velocity must vanish at the upper and lower bounds*. This condition provides one boundary condition for each layer, namely

$$\left.\frac{\partial \phi_1}{\partial z}\right|_{z=+h_1} = 0 \tag{8}$$

$$\left.\frac{\partial \phi_2}{\partial z}\right|_{z=-h_2} = 0 \tag{9}$$

The rigid boundary condition for the upper boundary is often used as an approximation for the free surface boundary condition. Such an approximation is called the *rigid lid approximation*.

Two kinematic boundary conditions are derived on the interface: *The vertical fluid velocities on the interface follow the wave*. If we define the interface disturbance $\eta(x,t)$ (refer to Figure 1), the interface boundary conditions for small amplitude waves are

$$\left.\frac{\partial \phi_1}{\partial z}\right|_{z=0} = \left.\frac{\partial \eta}{\partial t}\right|_{z=0} \tag{10}$$

$$\left.\frac{\partial \phi_2}{\partial z}\right|_{z=0} = \left.\frac{\partial \eta}{\partial t}\right|_{z=0} \tag{11}$$

Using the *unsteady Bernoulli equation* in the z-direction, we have

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{1}{2}w^2 + \frac{p}{\rho} + zg = C(t) \tag{12}$$

where $C(t)$ along a streamline is a function of time only.

For small amplitude waves ($a/\lambda \ll 1$) the quadratic term w^2 can be neglected and after division by g, we have

$$\frac{1}{g}\frac{\partial \phi}{\partial t} + \frac{p}{\gamma} + z = C'(t) \tag{13}$$

where

$\frac{p}{\gamma}$ is the pressure head

z is the gravity head

$\frac{\partial \phi}{\partial t}$ is the unsteady term

Multiplication by $\gamma = \rho g$ leads to

$$\rho\frac{\partial \phi}{\partial t} + p + \rho g z = C''(t) \tag{14}$$

If we take the interface $z = \eta$ to be the streamline, then the Bernoulli constant $C''(t)$ is the same for both layers, giving us

$$\rho_1\frac{\partial \phi_1}{\partial t} + p_1 + \rho_1 g\eta = \rho_2\frac{\partial \phi_2}{\partial t} + p_2 + \rho_2 g\eta \tag{15}$$

which can be applied at $z = 0$ for small amplitude waves.

Because the pressure is continuous at the interface: $p_1 = p_2$.

Rearranging the remaining terms, we finally have

$$\rho_1\frac{\partial \phi_1}{\partial t} = \rho_2\frac{\partial \phi_2}{\partial t} + g\eta(\rho_2 - \rho_1) \tag{16}$$

This equation specifies the relationship between the spatial and temporal periodicity in the behavioral boundary conditions. In other words, our behavioral boundary condition cannot have arbitrary periodicity in space and time.

It is now possible to solve (6) and (7) given the above boundary conditions. Since we are interested in simple harmonic motion, we specify the interface motion as

$$\eta(x,t) = a\cos(kx - \omega t) = ae^{i(kx-\omega t)} \tag{17}$$

where k and ω are the interfacial wave number and frequency, respectively. Since we have linearized the equations, the system response must have the same periodicity; thus, using the separation of variables technique, we are seeking solutions for the form

$$\phi_i = Z_i(z)e^{i(kx-\omega t)} \tag{18}$$

where $i = 1, 2$ is the fluid layer and where we have written the periodicity in terms of a cosine function through the use of implied real-part operators, recalling

$$\cos(\alpha x) = \mathrm{Re}\left(e^{i\alpha x}\right) = \mathrm{Re}\left(\cos(\alpha x) + i\sin(\alpha x)\right)$$

Substituting (18) into the Laplace equation (5), we obtain the following ordinary differential equation for Z_i:

$$\frac{\partial^2 Z_i}{\partial z^2} - k^2 Z_i = 0 \tag{19}$$

To find the general solution of this linear homogeneous differential equation of second order, we first have to solve its associated characteristic equation

$$\lambda^2 + a\lambda + b = 0 \tag{20}$$

where $a = 0$ and $b = -k^2$ .The solution of (20) is

$$\lambda_{1,2} = \pm k$$

Because $\lambda_1 \neq \lambda_2$ and they are real, the general solution of (19) is

$$Z_i(z) = C_i e^{\lambda_1 z} + D_i e^{\lambda_2 z} \tag{21}$$

or

$$Z_i(z) = C_i e^{kz} + D_i e^{-kz} \tag{22}$$

where we can assume k is positive without loosing generality.

Now we can substitute the form we are seeking for, (18), into our boundary conditions:

a) Substituting (18) into the fixed boundary condition for the upper layer (8)

$$\left(C_1 k e^{kz} + D_1(-k)e^{-kz}\right)e^{i(kx-\omega t)} = 0$$

$$C_1 k e^{kh_1} + D_1(-k)e^{-kh_1} \overset{z=h_1}{=} 0$$

$$C_1 = D_1 e^{-2kh_1} \tag{23}$$

b) Substituting (18) into the fixed boundary condition for the lower layer (9)

$$\left(C_2 k e^{kz} + D_2(-k)e^{-kz}\right)e^{i(kx-\omega t)} = 0$$

$$C_2 k e^{-kh_2} + D_2(-k)e^{kh_2} \overset{z=-h_2}{=} 0$$

$$C_2 = D_2 e^{2kh_2} \tag{24}$$

c) Substituting (18) into the kinematic boundary conditions at the interface for the upper layer (10)

$$-i\omega a e^{i(kx-\omega t)} = \left(C_1 k e^{kz} - D_1 k e^{-kz}\right) e^{i(kx-\omega t)}$$

$$-\frac{i\omega a}{k} \overset{z=0}{=} C_1 - D_1 \tag{25}$$

d) Substituting (18) into the kinematic boundary conditions at the interface for the lower layer (11)

$$-i\omega a e^{i(kx-\omega t)} = \left(C_2 k e^{kz} - D_2 k e^{-kz}\right) e^{i(kx-\omega t)}$$

$$-\frac{i\omega a}{k} \overset{z=0}{=} C_2 - D_2 \tag{26}$$

Solving this system of four equations (23) to (26) in four unknowns, we obtain

$$C_1 = \frac{-ia\omega e^{-2kh_1}}{k\left(e^{-2kh_1} - 1\right)} \tag{27}$$

$$C_2 = \frac{-ia\omega e^{2kh_2}}{k\left(e^{2kh_2} - 1\right)} \tag{28}$$

$$D_1 = \frac{-ia\omega}{k\left(e^{-2kh_1} - 1\right)} \tag{29}$$

$$D_2 = \frac{-ia\omega}{k\left(e^{2kh_2} - 1\right)} \tag{30}$$

Substituting this into (22) and showing the algebra, we have

$$\begin{aligned} Z_1 &= \frac{-ia\omega e^{-2kh_1+kz}}{k\left(e^{-2kh_1} - 1\right)} + \frac{-ia\omega e^{-kz}}{k\left(e^{-2kh_1} - 1\right)} \\ &= \frac{-ia\omega}{k} \frac{e^{-2kh_1+kz} + e^{-kz}}{e^{-2kh_1} - 1} \\ &= \frac{-ia\omega}{k} \frac{e^{-kh_1}\left(e^{-kh_1+kz} + e^{kh_1-kz}\right)}{e^{-kh_1}\left(e^{-kh_1} - e^{kh_1}\right)} \\ &= \frac{+ia\omega}{k} \frac{e^{k(z-h_1)} + e^{-k(z-h_1)}}{e^{kh_1} - e^{-kh_1}} \end{aligned}$$

and recalling

$$\cosh(x) = \frac{e^x + e^{-x}}{2}; \sinh(x) = \frac{e^{-x} - e^{-x}}{2}$$

gives us

$$Z_1 = \frac{i\omega a \cdot \cosh\left(k\left(z-h_1\right)\right)}{k \cdot \sinh\left(kh_1\right)} \tag{31}$$

and, similarly

$$Z_2 = \frac{-i\omega a \cdot \cosh\left(k\left(z-h_2\right)\right)}{k \cdot \sinh\left(kh_2\right)} \tag{32}$$

Thus, the velocity potential (18) becomes

$$\phi_1 = +\frac{i\omega a \cdot \cosh\left(k\left(z-h_1\right)\right)}{k \cdot \sinh\left(kh_1\right)} \cos\left(kx-\omega t\right) \tag{33}$$

$$\phi_2 = -\frac{-i\omega a \cdot \cosh\left(k\left(z-h_2\right)\right)}{k \cdot \sinh\left(kh_2\right)} \cos\left(kx-\omega t\right) \tag{34}$$

The condition derived from the Bernoulli equation (16) specifies the relationship between k and ω. Substituting ϕ_1, ϕ_2 and η into (16) gives:

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_1 \frac{i\omega a \cdot \cosh\left(k\left(z-h_1\right)\right)}{k \cdot \sinh\left(kh_1\right)} \cos\left(kx-\omega t\right)\right) = \frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_2 \frac{-i\omega a \cdot \cosh\left(k\left(z-h_2\right)\right)}{k \cdot \sinh\left(kh_2\right)} \cos\left(kx-\omega t\right)\right) + ga\eta\left(\rho_2-\rho_1\right)$$

Rewriting the cosine terms as exponentials, see (17), and remembering that $z=0$, gives us

$$\frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_1 \frac{i\omega a \cdot \cosh\left(-kh_1\right)}{k \cdot \sinh\left(kh_1\right)} e^{i(kx-\omega t)}\right) = \frac{\partial}{\partial t}\left(\rho_2 \frac{-i\omega a \cdot \cosh\left(kh_2\right)}{k \cdot \sinh\left(kh_2\right)} e^{i(kx-\omega t)}\right) + ga\left(\rho_2-\rho_1\right) e^{i(kx-\omega t)}$$

After taking the derivatives and a little trigonometry, we get

$$\rho_1 \frac{-i\omega\left(i\omega a\right)}{k} \frac{1}{\tanh\left(kh_1\right)} \cancel{e^{i(kx-\omega t)}} = \rho_2 \frac{-i\omega\left(-i\omega a\right)}{k} \frac{1}{\tanh\left(kh_2\right)} \cancel{e^{i(kx-\omega t)}} + ga\left(\rho_2-\rho_1\right) \cancel{e^{i(kx-\omega t)}}$$

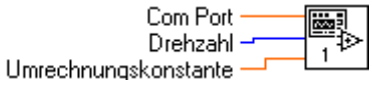
and finally after replacing $i^2=-1$, we obtain the so called **dispersion relation**

$$\boxed{\rho_1 \frac{\omega^2}{k} \frac{1}{\tanh\left(kh_1\right)} + \rho_2 \frac{\omega^2}{k} \frac{1}{\tanh\left(kh_2\right)} - g\left(\rho_2-\rho_1\right) = 0} \tag{35}$$

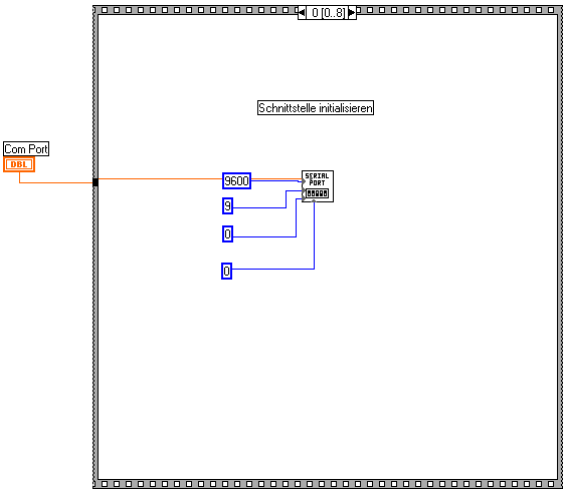
Anhang C LabVIEW VIs

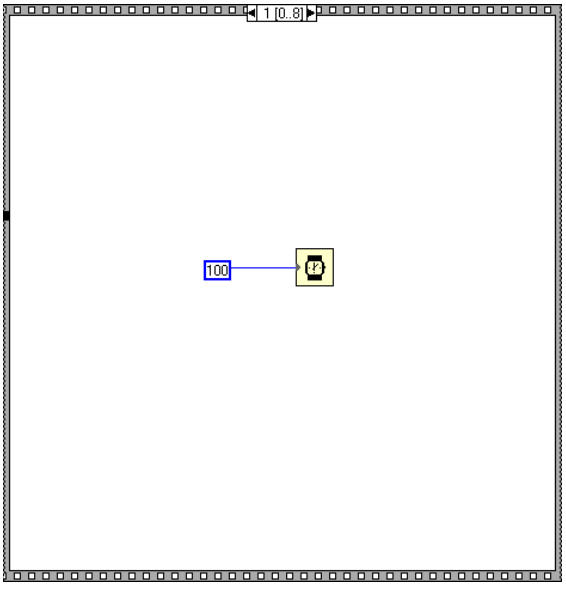
C.1 netzteil.vi

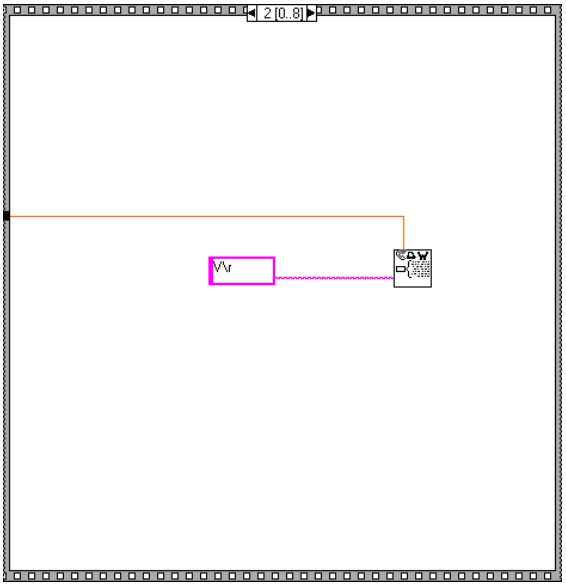
Connector Pane

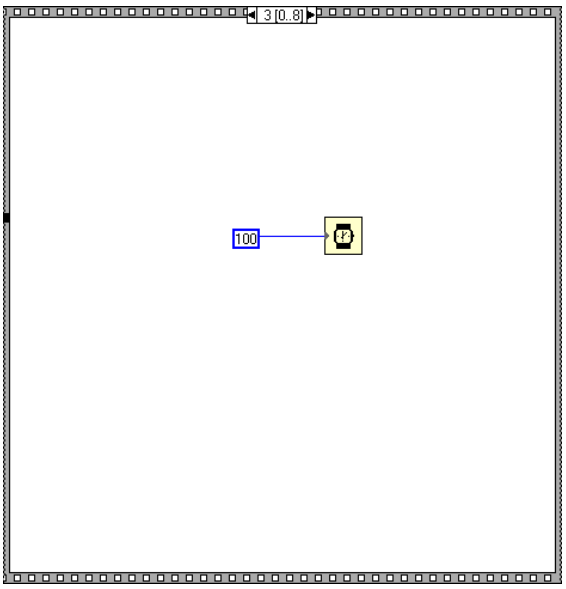


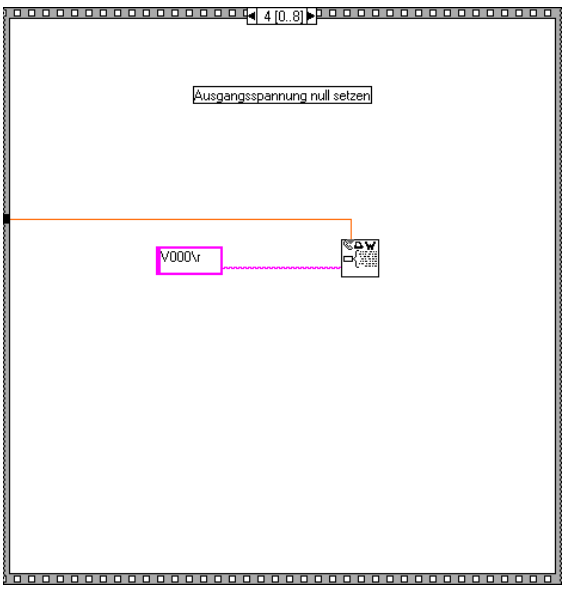
Block Diagram

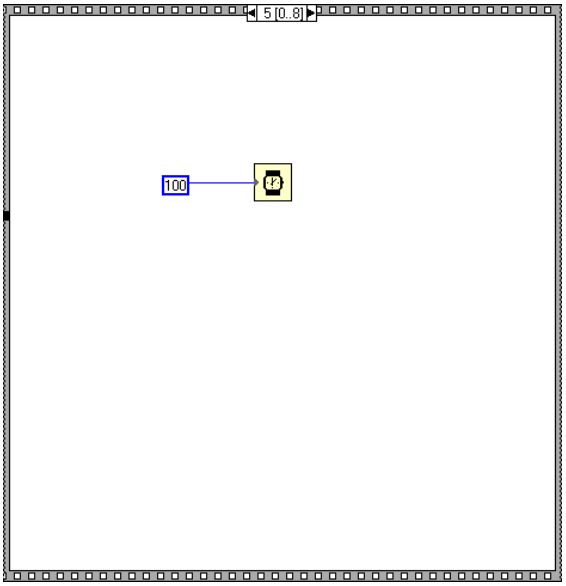


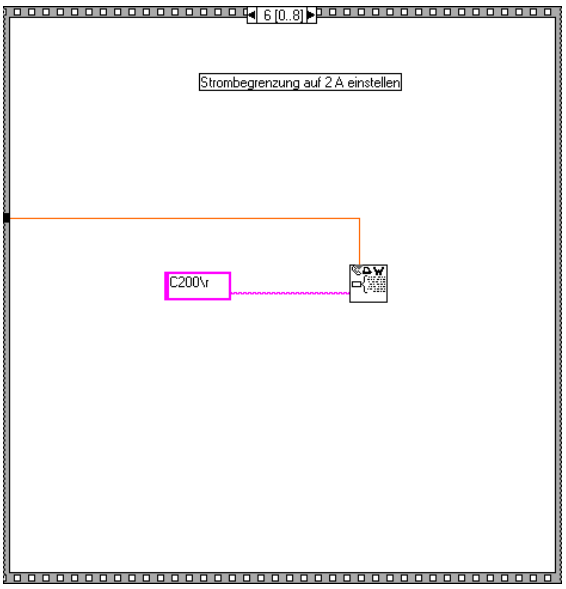


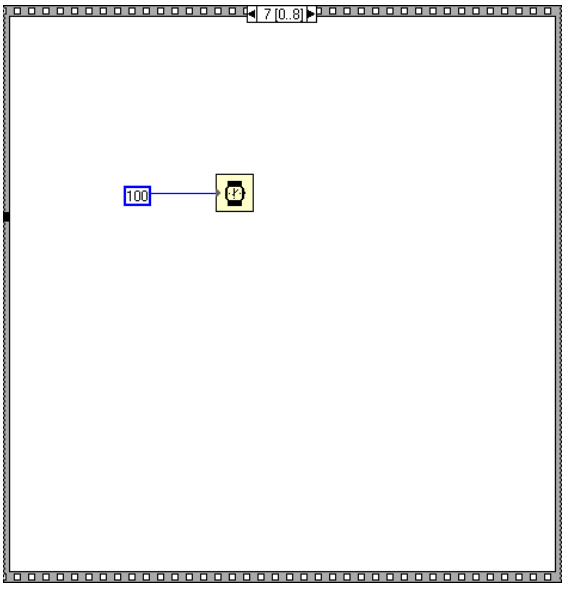

2 [0..8]
V\r

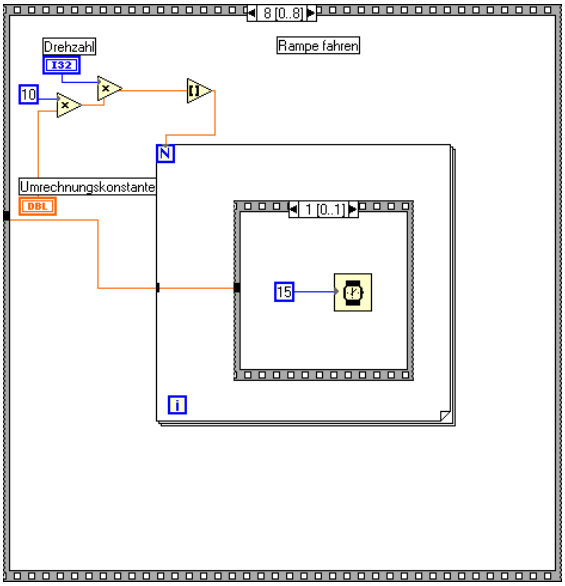

3 [0..8]
100

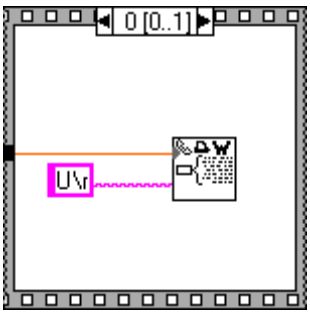

4 [0..8]
Ausgangsspannung null setzen
V000\r


5 [0..8]
100


6 [0..8]
Strombegrenzung auf 2 A einstellen
C200\r


7 [0..8]
100

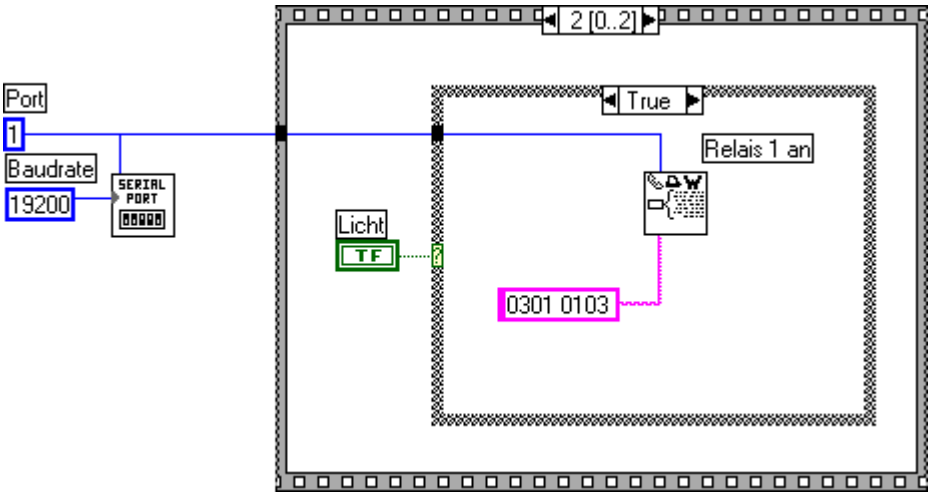

8 [0..8]
Drehzahl
132
Rampe fahren
10
N
Umrechnungskonstante
DBL
1 [0..1]
15
i

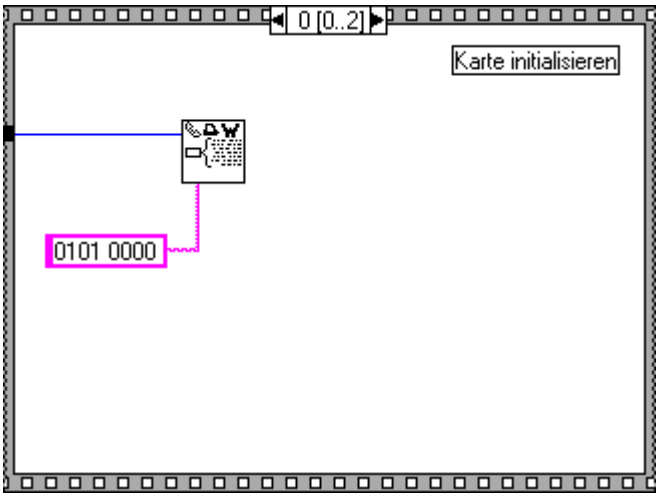

0 [0..1]
U\r

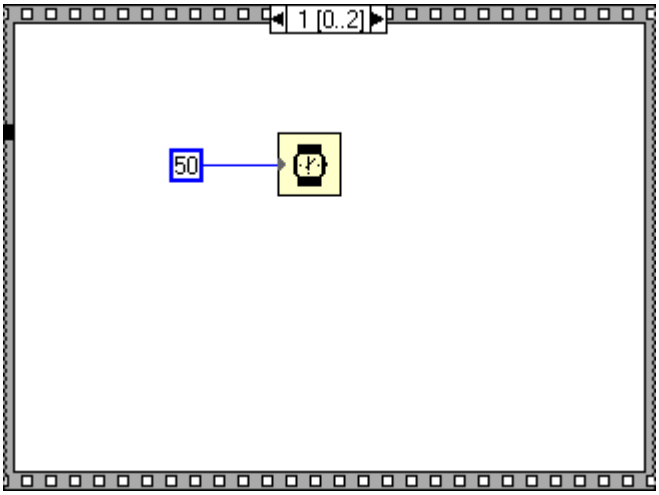
C.2 relais_1.vi

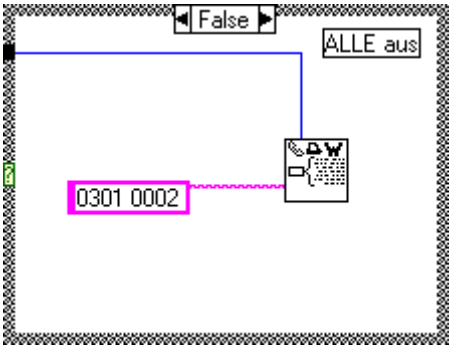
Connector Pane

Block Diagram





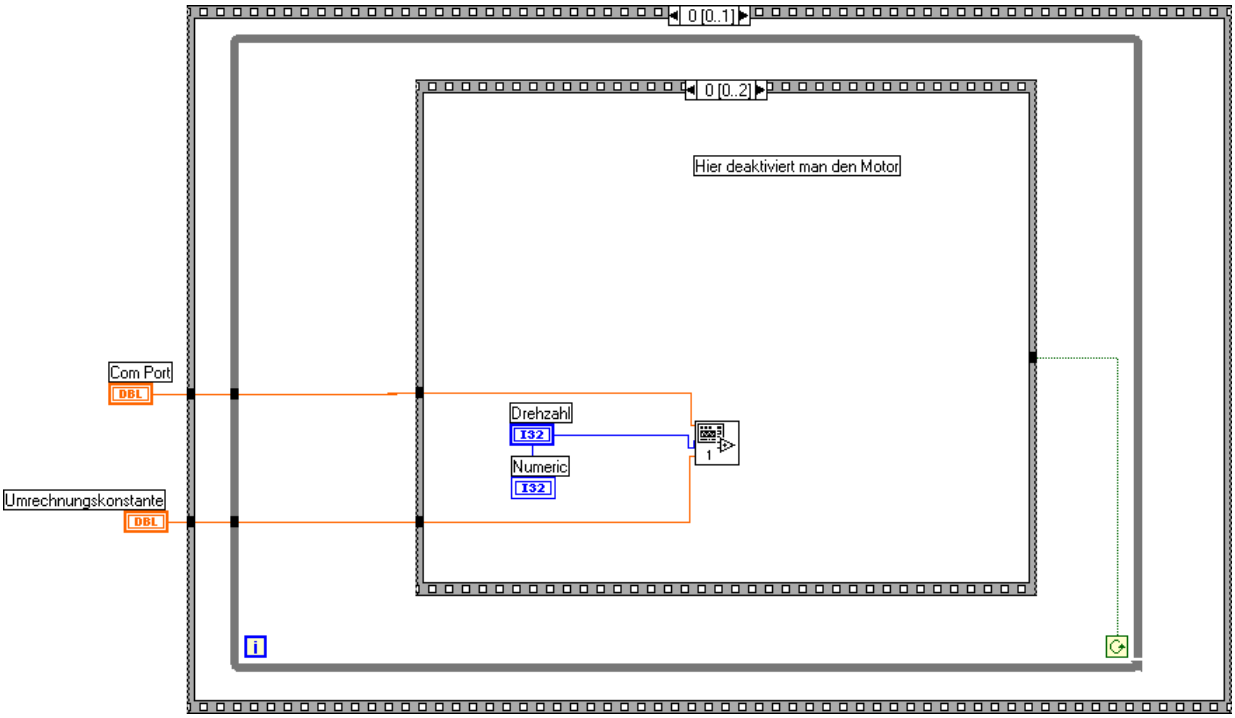


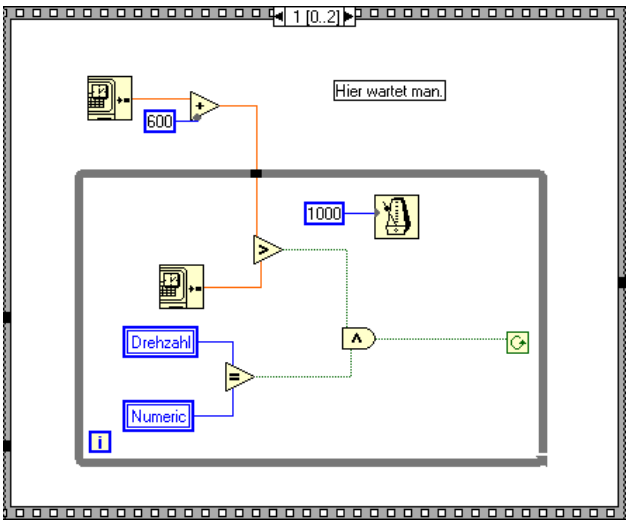

False
ALLE aus
0301 0002

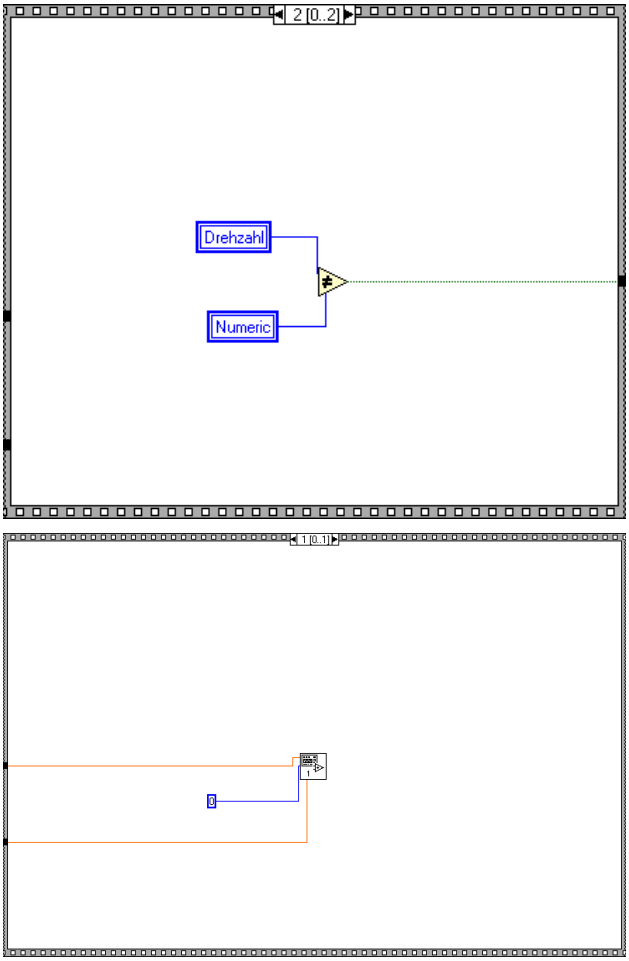
C.3 motor.vi

Connector Pane

Block Diagram



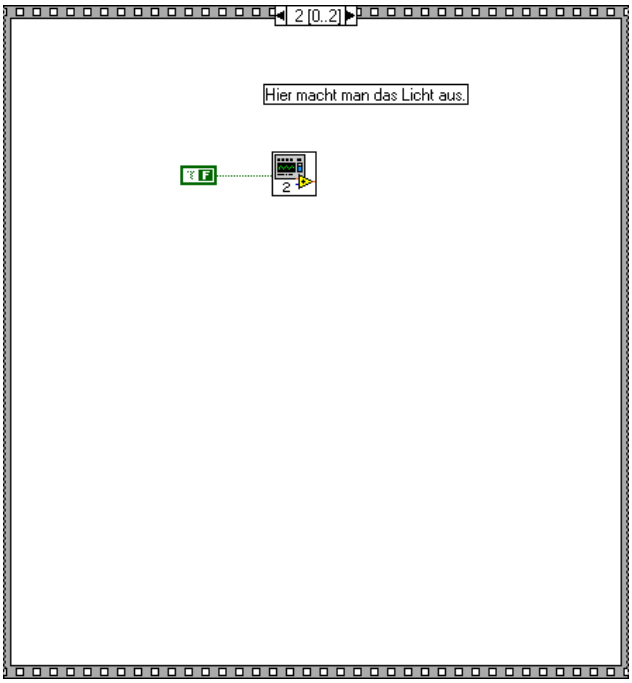


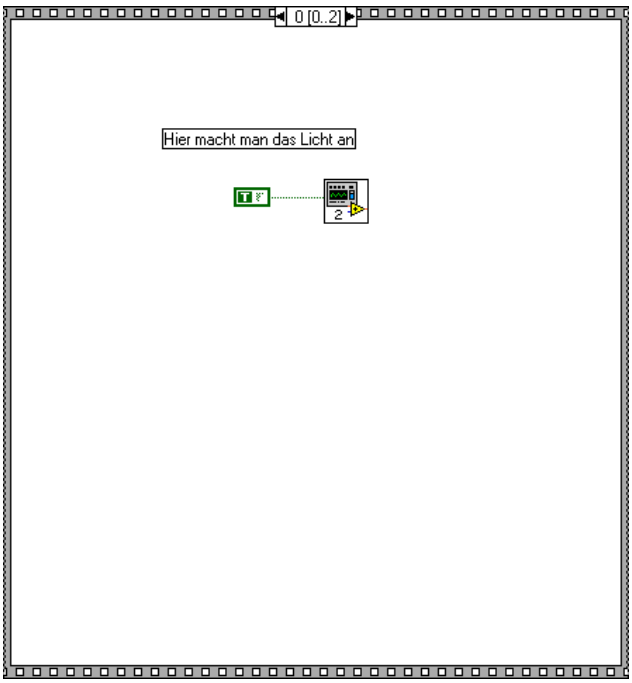

2 [0..2]
Drehzahl
Numeric
1 [0..1]
0

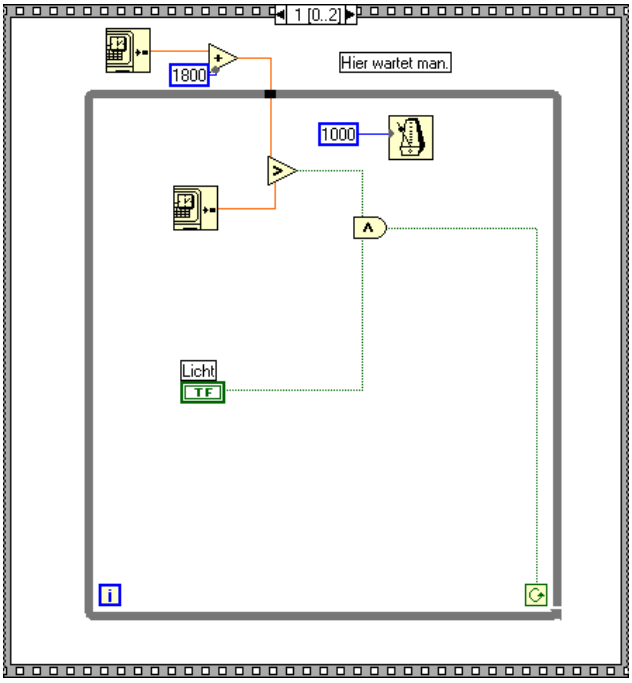
C.4 strom.vi

Connector Pane

Block Diagram



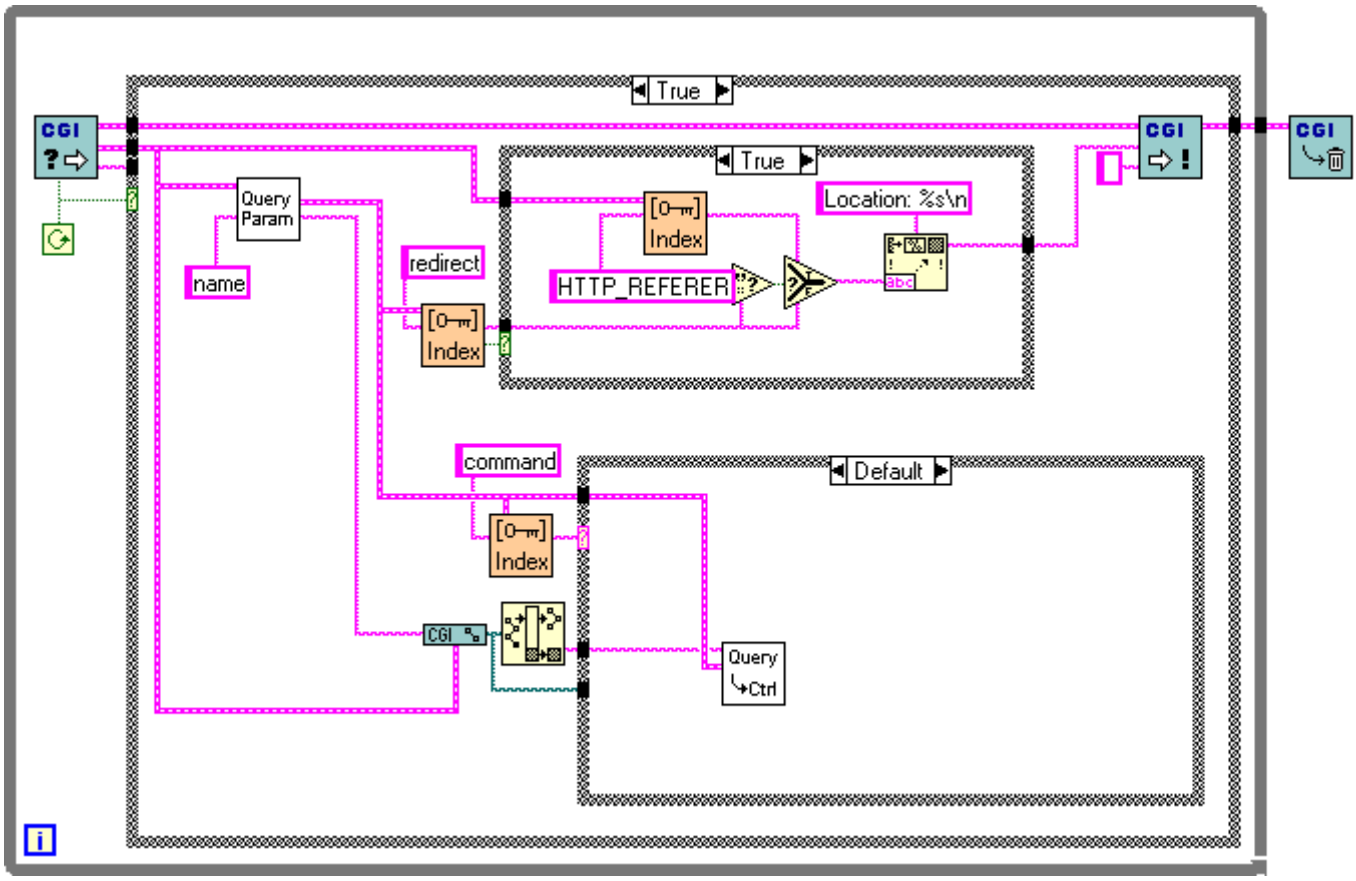


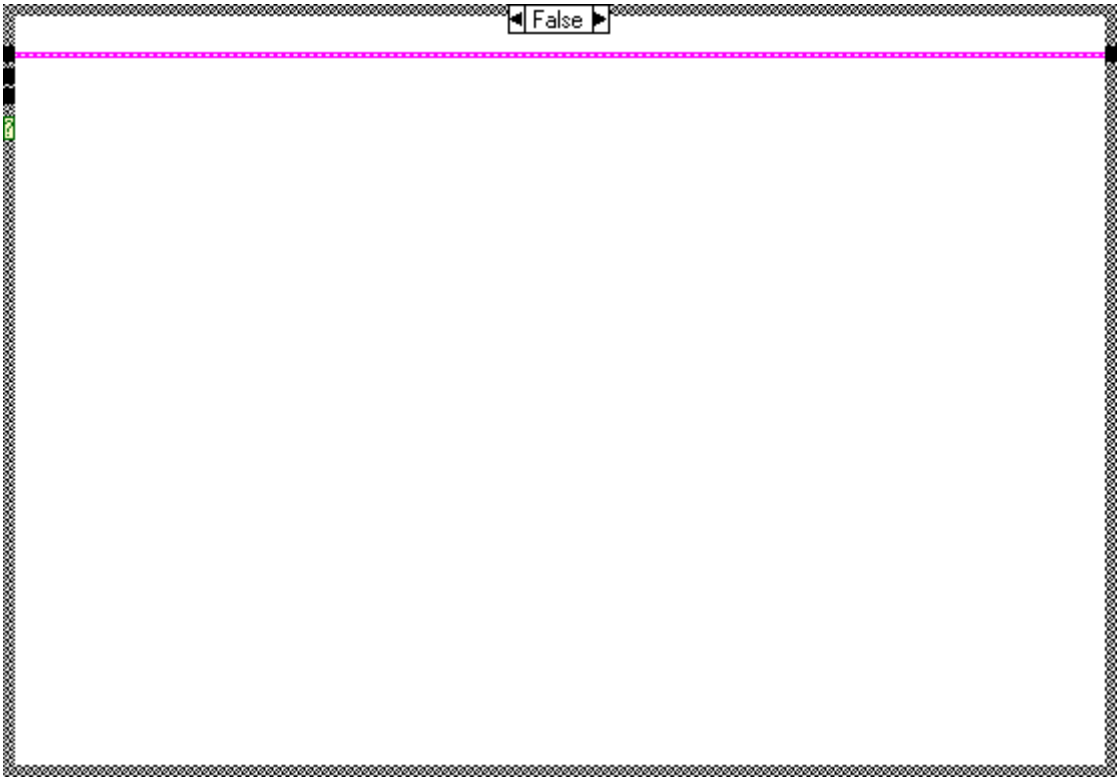

1 [0..2]
1800
Hier wartet man.
1000
Licht
TF
i

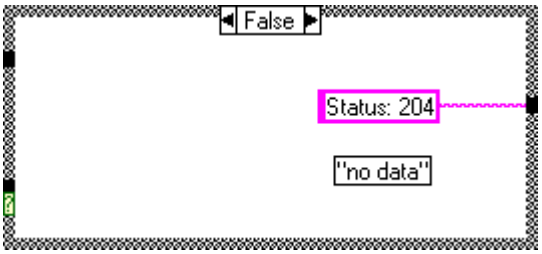
C.5 victrl.vi

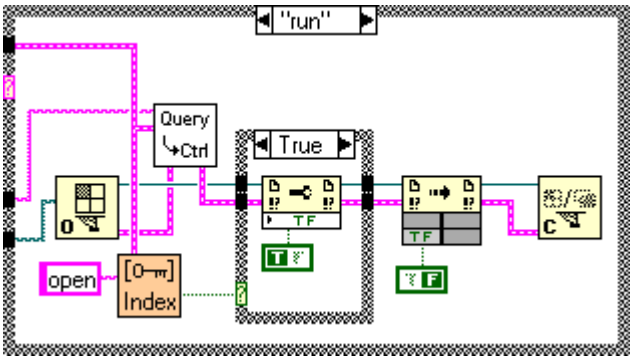
Connector Pane

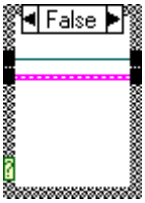
Block Diagram

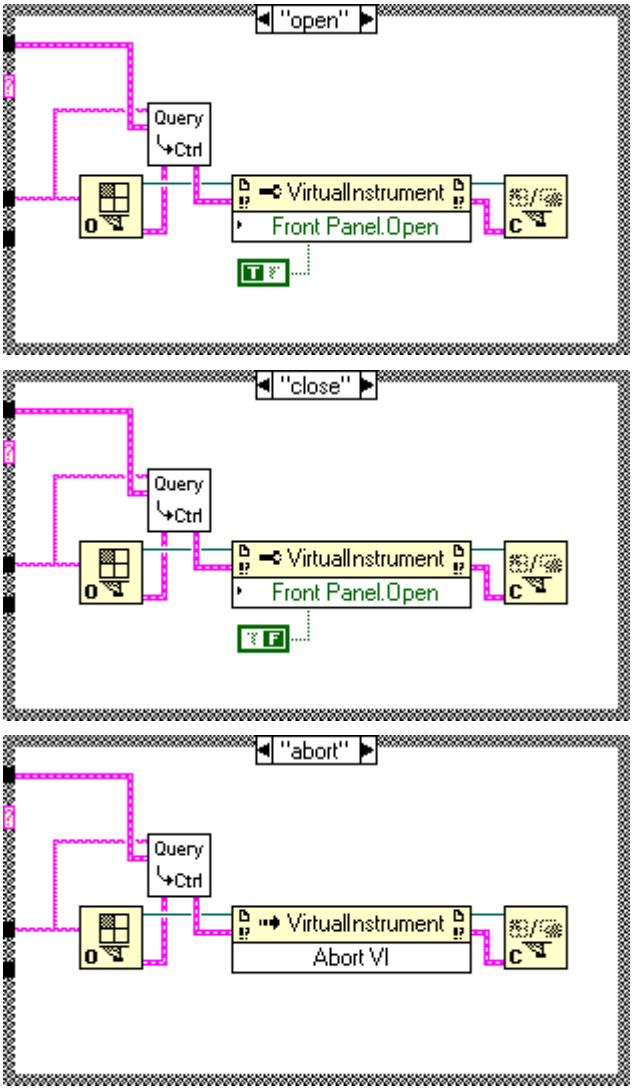



False


False
Status: 204
"no data"


"run"
Query
Ctrl
True
TF
TF
open
[0]
Index


False


"open"
Query
Ctrl
VirtualInstrument
Front Panel.Open
TF
"close"
Query
Ctrl
VirtualInstrument
Front Panel.Open
TF
"abort"
Query
Ctrl
VirtualInstrument
Abort VI

Anhang D G Web Server CGI Parameter

VI Control CGI Parameters

name=*vi_name*

vi_name is the name of (or path to) a VI on which the CGI is going to operate. You can specify the name explicitly, i.e `victrl.vi?name=example.vi` or implicitly, i.e. `victrl.vi?example.vi`.

command=*operation*

This optional parameter specifies what operation (besides setting value(s)) should be performed on the specified VI. ***operation*** can be one of the following:

open

opens the front panel of the specified VI.

close

closes the front panel of the specified VI.

abort

aborts the execution of the specified VI.

run

loads the VI into memory and starts it running. If the VI's panel should be opened, also pass a parameter named **open**. The **run** command requires a path to the specified VI.

redirect=*URL*

URL specifies the document which the browser should display after the CGI has executed. If no **redirect** parameter is specified, the page in the browser does not change. If the **redirect** parameter specifies an empty URL, the browser is reqested to update that page from which the CGI was called.

SetBool,*control_name*

This parameter sets the value of the Boolean control ***control_name*** to the parameter's value. The value can be `on, T` or `1` for **true** and `off, F` or `0` for **false.**

SetBool,*control_name*,toggle

This parameter toggles the value of the Boolean control ***control_name***.

SetString,*control_name*

This parameter sets the value of the String control ***control_name*** to the parameter's value.

SetInt,*control_name*

This parameter sets the value of the 32-bit integer control ***control_name*** to the parameter's value.

SetInt,*control_name*,inc

This parameter **increments** the value of the 32-bit integer control ***control_name*** by the parameter's value.

SetInt,*control_name*,dec

This parameter **decrements** the value of the 32-bit integer control ***control_name*** by the parameter's value.

SetFloat,*control_name*

This parameter sets the value of the double-precision floating point control ***control_name*** to the parameter's value.

SetFloat,*control_name*,inc

This parameter **increments** the value of the double-precision floating point control ***control_name*** by the parameter's value.

SetFloat,*control_name*,dec

This parameter **decrements** the value of the double-precision floating point control ***control_name*** by the parameter's value.

© National Instruments

Anhang E ASP-Quellcode

E.1 session_cookie_test_1.asp

```
<!-- session_cookie_test_1.asp -->
<!-- Erster Teil der Ueberpruefung der Zugangsvoraussetztung  -->
<!-- (speichern von nicht permanenten Cookies) fuer das Lab -->
<%
'Ein Test Cookie wird gesetzt
Session("test")=1
'Weiterleitung zum zweiten Teil der Ueberpruefung
Response.Redirect "http://129.13.145.2/labcam/session_cookie_test_2.asp"
%>
```

E.2 session_cookie_test_2.asp

```
<!-- session_cookie_test_2.asp -->
<!-- Zweiter Teil der Ueberpruefung der Zugangsvoraussetztung  -->
<!-- (aufrufen des eben gespeicherten speicherten Cookies) fuer das Lab -->
<% Response.Expires=0 %>
<%
'Weiterleitungslink ins Lab
cookies_yes = "lab_active.asp"
'Weiterleitungslink auf Hinweisseite fuer den Cookiegebrauch
cookies_no = "/help/no_cookies.htm"
if Session("test")=1 then
    ok = true
else
    ok = false
end if
if ok then
    response.redirect cookies_yes
else
    response.redirect cookies_no
end if
%>
```

E.3 lab_active.asp

```
<!-- lab_active.asp -->
<!-- Screen fuer den aktiv steuernden mit den Frames Schaltkonsole (links) -->
<!-- und dem variablen Videostreamscreen (rechts)-->
<% Response.Expires=0 %>
<%
aktiv = 1
passiv = 0
' Weiterleitungslink zur Besetzt-Seite
busy_link = "/labcam/lab_passive.asp"
'Überpruefung ob der Benutzer den aktuellen Schlüssel schon hat,...
'd.h. wenn die sessionID ungleich dem key ist und das Lab gelockt ist
IF Application.Contents("glvar_key") <> Session.SessionID AND Applica-
tion.Contents("glvar_lock") = 1 THEN
'...dann, wird der Benutzer in den passive mode geschickt
    response.redirect busy_link
'und wenn nicht, wird ...
ELSE
        ' ...die Application fuer den exklusiven Zutritt vorbereitet
        Application.Lock
        ' ...die Sperrungsvariable (glvar_lock) wird aktiviert (da ja nicht besetzt ist)
        Application.Contents("glvar_lock") = aktiv
        ' ...die benutzerspezifische SessionID wird als Schluessel (glvar_key) gespeichert
        Application.Contents("glvar_key") = Session.SessionID
        ' ...die Application wieder freigegeben ...
        Application.Unlock
END IF
' ... und die unten angegeben Frames aufgebaut: Der Benutzer ist nun im Lab (active mode)
%>
<html>
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
<title>active Lab</title>
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<meta name="Microsoft Theme" content="diploma-beta-weiss-background 111, default">
<meta name="Microsoft Border" content="tl, default">
</head>
<frameset cols="200,*">
<!-- linke Seite: Schaltkonsole -->
  <frame name="Auswahlframe" target="Hauptframe" src="select_frame.asp" scrolling="auto">
<!-- rechte Seite: Anzeigeframe -->
  <frame name="Hauptframe" src="welcome.asp" target="_self">
  <noframes>
  <body>
  <p>Diese Seite verwendet Frames. Frames werden von Ihrem Browser aber nicht
  unterstützt.</body>
  </noframes>
</frameset>
</html>
```

E.4 select_frame.asp

```
<!-- select_frame.asp -->
<!-- Schaltkonsole -->
<!-- linker Frame von lab_active.asp -->
<html>

<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
<meta http-equiv="Content-Language" content="en-us">
<meta http-equiv="expires" content="0">
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title>Lab Cam select</title>
<base target="_self">

<SCRIPT LANGUAGE="JavaScript">

<!-- Die Stoppuhr als clientseitiges JavaScript -->
<!-- This script and many more are available online from -->
<!-- Data~Creek Design!! http://datacreek.com/design -->

<!-- Begin
var ms = 0;
var state = 0;
function startstop() {
if (state == 0) {
state = 1;
then = new Date();
then.setTime(then.getTime() - ms);
} else {
state = 0;
now = new Date();
ms = now.getTime() - then.getTime();
document.stpw.time.value = ms;
   }
}
function swreset() {
state = 0;
ms = 0;
document.stpw.time.value = ms;
}
function display() {
setTimeout("display();", 50);
if (state == 1)  {now = new Date();
ms = now.getTime() - then.getTime();
document.stpw.time.value = ms;
   }
}
// End -->
</SCRIPT>

<meta name="Microsoft Theme" content="diploma-beta-weiss-background 111, default">
<meta name="Microsoft Border" content="none">
</head>

<BODY onLoad="display()">
<div align="center">
  <center><table border="0" width="150">
  <tr>
    <td width="50%" bgcolor="#66FF66">
      <p align="center"><b><font face="Arial"><a href="welcome.asp" tar-
get="Hauptframe">Help</a></font></b></td>
    <td width="50%" bgcolor="#FF6666">
      <p align="center"><b><a href="_unlock.htm" target="_top">Logout</a></b></td>
  </tr>
</table></center>
</div>

<form method="POST" action="set_video_cookies.asp" target="Hauptframe">
  <div align="center">
    <center><table border="0" width="150" bgcolor="#FFFF99" cellspacing="0" style="margin-top:
-15">
    <tr>
      <td width="100%" align="center"><p align="center"><b> 1. Videostream 
        </b></td>
```

```
    </tr>
    <tr>
      <td width="100%" align="center"><font size="2"> resolution:<br>
        </font>
        <select size="1" name="resolution" onChange="document.forms[0].submit();" style="font-
size: 8pt">
          <option value="176x144">176x144 pixel</option>
          <option value="352x288" selected>352x288 pixel</option>
          <option value="704x576">704x576 pixel</option>
        </select></td>
    </tr>
    <tr>
      <td width="100%" align="center"><font size="2"> compression:<br>
        </font>
        <select size="1" name="compression" onChange="document.forms[0].submit();" sty-
le="font-size: 8pt">
          <option value="0">min (0%)</option>
          <option value="30">low (30%)</option>
          <option value="50" selected>medium (50%)</option>
          <option value="70">high (70%)</option>
          <option value="90">very high (90%)</option>
        </select></td>
    </tr>
    <tr>
      <td width="100%" align="center"><p align="center"><input type="submit" value="Start vid-
eostream" name="Send" style="text-align: center; left: 0; width: 120; position: relative;
color: #FF0000; font-size: 8pt"></p>
      </td>
    </tr>
  </table></center>
  </div>
</form>
<script language="JavaScript">
function submitIt() {
    document.forms[0].submit();
}
</script>

<div align="center">
  <center>
  <table border="0" width="150" bgcolor="#FFFF99" style="margin-top: -15" cellspacing="0">
    <tr>
      <td width="100%" colspan="2">
      <p align="center"><font face="Arial"><b>2. Cam &amp; Light<br>
</b><font color="#FF0000" size="1" face="Arial">(auto-off after 30 min)</font></font></p>
      </td>
    </tr>
  </center>
    <tr>
    <td width="50%">
      <form method="POST" action="http://129.13.120.9/cgi-
bin/examples/victrl.vi?strom.vi&amp;command=run&amp;open&amp;SetBool,Licht=on">
        <p align="right"><input type="submit" value=" On " name="Send" style="font-size:
8pt"></p>
      </form>
    </td>
    <td width="50%">
        <form method="POST" action="http://129.13.120.9/cgi-
bin/examples/victrl.vi?strom.vi&command=run&open&SetBool,Licht=off">
        <p align="left"><input type="submit" value=" Off " name="B1" style="font-size:
8pt"></p>
      </form>
    </td>
    </tr>
  </table>
</div>

<div align="center">
  <center>
<form method="POST" action="select_drehzahl.asp" target="Hauptframe" enctype="application/x-
www-form-urlencoded" onsubmit="return FrontPage_Form4_Validator(this)" name="FrontPage_Form4">
<table border="0" width="150" bgcolor="#FFFF99" style="margin-top: -15" cellspacing="0">
  <tr>
      <td width="100%"><p align="center"><b>3. Motor voltage<br>
  </b>
        <font size="1">(Range:0;30-260 dV, integer)<br>
  </font>
    <!--webbot bot="Validation" S-Data-Type="Integer"
```

```
        S-Number-Separators="x"
        S-Validation-Constraint="Greater than or equal to"
        S-Validation-Value="0" --> <input type="text" name="drehzahl_asp" size="6"
style="font-size: 8pt"><input type="submit" value="Set" style="font-size: 8pt"></p>
      </td>
  </tr>
</table>
</form>
  </center>
</div>

<CENTER>
<FORM NAME="stpw">
<table border="0" width=150 bgcolor="#FFFF99" style="margin-top: -15" cellspacing="0">
  <tr>
    <td width="100%"><p align="center"><font face="Arial"><b>4. Stopwatch:<br>
      </b></font> 
<INPUT TYPE="text" Name="time" size=6 style="font-size: 8pt"><font face="Arial"
size="2">ms</font><br>
<INPUT TYPE="BUTTON" Name="ssbutton" VALUE="Start/Stop" onClick="startstop()" style="font-
size: 8pt"><INPUT TYPE="BUTTON" NAME="reset" VALUE="Reset" onClick="swreset()" style="font-
size: 8pt">
    </td>
  </tr>
</table>
</FORM>
</CENTER>

<form method="POST" action="snapshot_frame.asp" target="Hauptframe">
  <div align="center">
    <center><table border="0" width="150" bgcolor="#FFFF99" style="margin-top: -15" cellspac-
ing="0">
    <tr>
      <td width="50%" align="center"><p align="center"><b><font face="Arial"> 5.
        </font>Snapshot
        </b></td>
    </tr>
    <tr>
      <td width="50%" align="center"><font size="2"> resolution:<br>
        </font>
        <select size="1" name="resolution" style="font-size: 8pt">
          <option value="176x144">176x144 pixel</option>
          <option value="352x288">352x288 pixel</option>
          <option value="704x576" selected>704x576 pixel</option>
        </select></td>
    </tr>
    <tr>
      <td width="50%" align="center"><font size="2"> compression:<br>
        </font>
        <select size="1" name="compression" style="font-size: 8pt">
          <option value="0">min</option>
          <option value="30" selected>low</option>
          <option value="50">medium</option>
          <option value="70">high</option>
          <option value="90">very high</option>
        </select></td>
    </tr>
    <tr>
      <td width="50%" align="center"><p align="center"><input type="submit" value="Make Snap-
shot" name="Send" style="font-size: 8pt"></p>
      </td>
    </tr>
  </table></center>
  </div>
  <input type="hidden" name="camera" value="1">
</form>

<font color="#FF0000">
<b>
<p align="center"><a href="../survey.htm" target="_top"><font face="Arial" size="2">To
the survey</font></a></p>
</b>
</font></body>

</html>
```

E.5 set_video_cookies.asp

```
<!-- set_video_cookies.asp -->
<!-- speichert die ueber das Formular gesendeten Videoeinstellungen (Aufloesung und Kompressi-
on) -->
<!-- in Form von nicht permanenten Cookies ab, fuer den spaeteren Abruf bei aenderung der
Drehzahl -->
<%
resolution = CStr(Request.Form("resolution"))
compression = CStr(Request.Form("compression"))
    Response.Cookies("c_resolution")= resolution
    Response.Cookies("c_compression")= compression
' Weiterleitung zum Videoanzeigeframe
    Response.redirect "main_frame.asp"
%>
<html>
<head>
<meta name="Microsoft Border" content="none">
</head>
<body>
<h3>Cookie anlegen gescheitert</h3><hr>
<p>Es konnte kein Cookie angelegt werden, weil Sie nicht die nötigen Angaben gemacht ha-
ben.</p>
</body>
</html>
```

E.6 main_frame.asp

```
<!-- main_frame.asp -->
<!-- Nur der Videostreamscreen (rechter Frame)fuer den aktiv Steuernden ohne Schaltkonsole -->
<%@ LANGUAGE=VBScript %>
<% Response.Expires=0 %>
<%
busy_link = "lab_passive.asp"
'Überpruefung das der Benutzer kein Wiederkehrer ist
IF Application.Contents("glvar_key") >< Session.SessionID THEN
'...dann,...
    response.redirect busy_link
ELSE
End If
%>
<HTML>
<HEAD>
<base href="http://129.13.145.11" target="_self">
<meta http-equiv="Cache-Control" content="no-cache">
<meta http-equiv="Expires" content="0">
<meta http-equiv="Pragma" content="no-cache">
<meta http-equiv="refresh" content="600; URL=http://129.13.145.2/labcam/welcome.asp">
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
  <TITLE>AXIS 2400 Video Server</TITLE>
<meta name="Microsoft Border" content="none">
</HEAD>
<BODY
      BACKGROUND="http://www.ifh.uni-karlsruhe.de/images/background.gif"
      LINK="#808080" VLINK="#808080" ALINK="#808080">

<%
'Videokonfiguration wird aus den gespeicherten Cookies abgerufen und lokalen Variablen gespei-
chert ...
'...um daraus die Abmessungen für das Java-Applet-Fenster zu extrahieren
if Application("glvar_motor")="0" OR Application("glvar_motor")="unknown" then
    period = "unknown"
    ElSE
    period = "~ "&Round(exp(5.7063-1.099*log(Application("glvar_motor"))),2)&" s"
END IF

'Application fuer exklusiven Zugriff vorbereitet
Application.Lock
'Videokonfiguration wird zusaetzlich als globale Variablen gespeichert um sie spaeter abzuru-
fen
    Application("glvar_resolution") = Request.Cookies("c_resolution")
    Application("glvar_compression") = Request.Cookies("c_compression")
```

```
'Ausrechnen der ungefaehren Periode aus der Drehzahl
       Application("glvar_period") = period
'Adresse des Client-Rechners wird zu Adminstrationszwecken ermittelt
   Application("glvar_host") = request.servervariables("REMOTE_HOST")
   Application("glvar_addr") = request.servervariables("REMOTE_ADDR")
'Application wird wieder freigegeben
Application.Unlock

If Application("glvar_resolution") = "176x144" Then
strWidth = "176"
strHeight = "144"
ElseIf Application("glvar_resolution") = "352x288" Then
strWidth = "352"
strHeight = "288"
Else
strWidth = "704"
strHeight = "576"
End If
%>

<!DOCTYPE HTML PUBLIC "-//W3C//DTD HTML 3.2 Final//EN">

<table border="0" width="100%" style="margin-top: -10; margin-bottom: -10" cellspacing="0">
  <tr>
    <td width="30%" align="right">

<p align="right"><font face="Arial">videostream resolution:<br>
videostream compression:</font></td>
    <td width="20%" bgcolor="#FFFF99">

<font face="Arial">

  <b><%=Application("glvar_resolution")%>
 pixel <br>
 </b>  <b><%=Application("glvar_compression")%>%</b></font></td>
    <td width="20%">
      <p align="right"><font face="Arial">motor voltage:<br>
        period T: </font></td>
    <td width="20%" bgcolor="#FFFF99">
      <p align="left"><font face="Arial"><b> <%=Application.Contents("glvar_motor")%>
      dV<br><%=Application.Contents("glvar_period")%>     </b></font></p>
    </td>
    <td width="10%">
      <p align="right">
      <b><font face="Arial" size="2">Help
       <a href="http://129.13.145.2/labcam/welcome.asp" TARGET="help" On-
Click="popup('http://129.13.145.2/labcam/welcome.asp');"><img border="0"
src="http://129.13.145.2/images/help.gif" width="23" height="22"></a><br>
      </font></b>
    </td>
  </tr>
</table>

<SCRIPT LANGUAGE="JavaScript">
<!-- ermoeglicht das Oeffnen eines seperaten Fensters ohne Browserleisten -->
<!-- HIDE JAVASCRIPT

function popup(url)
{
remote = window.open(url,"help","width=600,height=570,menubar=0,scrollbars=0,resizable=1");
if (window.focus) { remote.focus() }
if(remote.opener == null) remote.opener = window;
}

// -->
</SCRIPT>
<hr>
<p>
<APPLET archive=AxisCamApplet.zip codeBase="/java/" code=AxisCamApplet.class height="<%=
strHeight %>" width="<%= strWidth %>">
<PARAM NAME="StreamLocation" VALUE="/axis-
cgi/mjpg/video.cgi?resolution=<%=Application("glvar_resolution")%>&compression=<%=Application(
"glvar_compression")%>&showlength=1&camera=1">
</APPLET>
</p>

<font size="2"><b><font color="#FF0000" face="Arial">Attention: </font></b></font>
<ul>
```

```
  <li><font color="#FF0000" face="Arial" size="2">After
      10 minutes idle time</font>
    <ul>
      <li><font face="Arial" size="2">this page will return to the help-screen  automati-
cally to save bandwith !</font></li>
      <li><font face="Arial" size="2">motor will stop</font></li>
    </ul>
  </li>
  <li>
      If you <b> don't see any video</b>
      <ul>
        <li>you could have a
      look at some <a
href="http://129.13.145.2/lab_setup/interface_excitation/stills+videos.htm" tar-
get="_top">stills
      + videos of the certain baroclinic and barotropic modes</a></li>
        <li>please <a href="http://129.13.145.2/contact.htm" target="_top">contact</a>
          me</li>
      </ul>
  </li>
  <li>
      <b><font face="Arial" size="2">Please <a href="http://129.13.145.2/labcam/_unlock.asp"
target="_top">LOG
      OUT</a> when you're done ! </font></b>
  </li>
</ul>

<p> </p>
</BODY>
</HTML>
```

E.7 select_drehzahl.asp

```
<!-- select_drehzahl.asp -->
<!-- Kontrolliert ob die Drehzahl im erlaubten Bereich liegt -->
<!-- Liest die Gewuenschte Drehzahl aus der Form aus und speichert sie als globale Variable --
>
<!-- ebenso wie den für labview noetigen link zu drehzahlaenderung -->
<!-- Baut die Seite aus den untenstehenden Frames auf -->
<%@ LANGUAGE=VBScript %>
<% Response.Expires=0 %>
<%
intDrehzahl = Request.Form("drehzahl_asp")
strToslow = "Toslow.htm"
strTofast = "Tofast.htm"
if intDrehzahl > 0 and intDrehzahl < 30 Then
response.redirect strToslow
ElseIf intDrehzahl > 260 Then
response.redirect strTofast
Else
Application.Lock
Application.Contents("glvar_motor") = intDrehzahl
Application.Contents("glvar_set_motor") = "http://129.13.120.9/cgi-
bin/examples/victrl.vi?motor.vi&command=run&open&SetInt,Drehzahl=" & intDrehzahl
Application.Unlock
End If
%>
<html>
<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
<title>select_drehzahl.asp</title>
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<meta name="Microsoft Theme" content="diploma-beta-weiss-background 111, default">
<meta name="Microsoft Border" content="tl, default">
</head>

 <frameset rows="*,100%" border=0 frameborder=0 framespacing="0" framecolor="#0000000">
  <frame name="Oben" src="drehzahl.asp" scrolling="auto" framespacing="0" frameborder="no">
  <frame name="Unten" src="main_frame.asp" framespacing="0" frameborder="no" target="_self">
  <noframes>
  <body>
  <p>Diese Seite verwendet Frames. Frames werden von Ihrem Browser aber nicht
  unterstützt.</body>
  </noframes>
 </frameset>
</html>
```

E.8 drehzahl.asp

```
<!-- drehzahl.asp -->
<!-- Ruft automatisch den fertigen für LabVIEW bestimmten CGI-Link auf -->
<%@ LANGUAGE=VBScript %>
<% Response.Expires=0 %>
<%
response.redirect Application.Contents("glvar_set_motor")
%>
<head>
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title></title>
<meta name="Microsoft Border" content="none">
</head>
```

E.9 snapshot_frame.asp

```
<!-- snapshot_frame.asp -->
<!-- Zeigt ein aktuelles Standbild im rechten Frame an -->
<!-- und überlistet Netscape dabei mit einem Dummyparameter -->
<%@ LANGUAGE=JavaScript %>
<% Response.Expires=0 %>
<html>

<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title>Neue Seite 1</title>
<meta name="Microsoft Theme" content="diploma-beta-weiss-background 111, default">
<meta name="Microsoft Border" content="none">
</head>

<body>
<center>
<%
var BaseURL = "http://129.13.145.11/";
var Camera = "1";
var ImageResolution = Request.Form("resolution");
var ImageCompression = Request.Form("compression");
// var DisplayWidth = "352";
// var DisplayHeight = "288";

if (ImageResolution=="176x144")
{
var DisplayWidth = "176";
var DisplayHeight = "144";
}
if (ImageResolution=="352x288")
{
var DisplayWidth = "352";
var DisplayHeight = "288";
}
if (ImageResolution=="704x576")
{
var DisplayWidth = "704";
var DisplayHeight = "576";
}
// No changes required below this point
var File = "axis-cgi/jpg/image.cgi?resolution=" + ImageResolution + "&compression=" + Image-
Compression;
if (Camera != "") {File += "&camera=" + Camera;}
theDate = new Date();
var output = "<IMG SRC=\"";
output += BaseURL;
output += File;
output += "&dummy=";
output += theDate.getTime().toString(10);
// The above dummy cgi-parameter enforce a bypass of the browser image cache.
output += "\" HEIGHT=\"";
output += DisplayHeight;
output += "\" WIDTH=\"";
output += DisplayWidth;
output += "\" ALT=\"Live Image\">";
Response.write(output);
%>
</center>
</body>
</html>
```

E.10 drehzahl_timeout.asp

```
<!-- drehzahl_timeout.asp -->
<!-- Ruft automatisch den LabVIEW CGI Link auf um den Motor auf 0 dV zu setzen -->
<%@ LANGUAGE=VBScript %>
<% Response.Expires=0 %>
<%
Application.Lock
Application.Contents("glvar_motor") = 0
Application.Unlock
response.redirect "http://129.13.120.9/cgi-
bin/examples/victrl.vi?motor.vi&command=run&open&SetInt,Drehzahl=0"
%>

<head>
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title></title>
<meta name="Microsoft Border" content="none">
</head>
```

E.11 unlock_frame.asp

```
<!-- unlock_frame.asp -->
<!-- Entsperrt das Lab und wechselt nach 5 Sekunden wieder auf die Welafi-Startseite -->
<% Response.Expires=0 %>
<%
    Application.Lock
    Application.Contents("glvar_lock") = 0
    Application.Unlock
%>
<html>

<head>
<meta http-equiv="Content-Type" content="text/html; charset=windows-1252">
<meta http-equiv="Content-Language" content="de">
<meta http-equiv="refresh" content="5; URL=http://129.13.145.2/">
<meta http-equiv="target" content="_top">
<meta name="GENERATOR" content="Microsoft FrontPage 4.0">
<meta name="ProgId" content="FrontPage.Editor.Document">
<title>unlock</title>
<!--base target="_self"-->
<base target="_self">
<meta name="Microsoft Theme" content="diploma-beta-weiss-background 111, default">
<meta name="Microsoft Border" content="none">
</head>

<body>
<p align="center"><img border="0" src="../images/snoopydance.gif">
</p>
<p align="center">You have <b> correctly logged out</b>. Thank U !<br>
You will be guided to the <a href="../default.htm" target="_top"> welafi-homepage</a> auto-
matically in 5 Seconds ! 
</p>
<p> 
</p>
<p> 
</p>
<p> 
</p>
<!--webbot bot="Include" U-Include="_wichtige_Werte_auslesen.asp" TAG="BODY" -->
<p> 
</p>
</body>
</html>
```

Anhang F Prelab Handout for *welafi*

In this lab you will find the periods of some barotropic and baroclinic modes of standing wave patterns. First you will calculate these periods theoretically, than you will find them by observation in the lab.

Before you visit the web based lab:

1. Study the wave basics on the welafi-website and read the section about interfacial waves.
2. Read through this handout.
3. Work out the exercises at the end of this document.

After reading the basics in Step 1 above, you should be familiar with the formation of standing waves, you should know what interfacial waves are, and you should understand the terms *barotropic* and *baroclinic*.

At the end of the article about interfacial waves, the dispersion equation was presented as a fundamental equation for bounded interfacial waves.

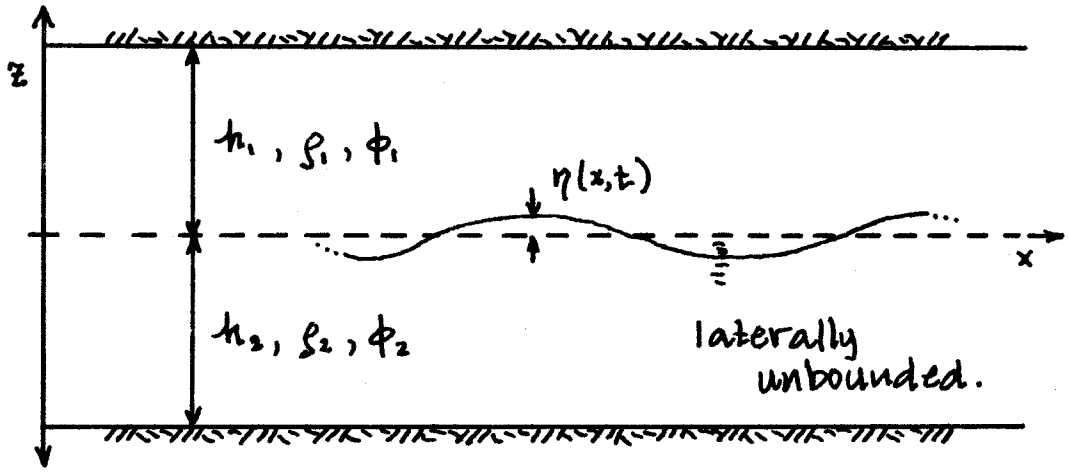


Fig. 1: Stratified and bounded two-layer system (Socolofsky, 2001)

We consider the difference between the two densities in the stratified system to be very small (Boussinesq Approximation); thus, we can replace them by a reference density ρ_0, which could be e.g. the mean value, giving us a more easy to handle form of the dispersion equation:

$$\frac{\omega^2}{k}\left(\frac{1}{\tanh\left(kh_1\right)}+\frac{1}{\tanh\left(kh_2\right)}\right)-\frac{g\left(\rho_2-\rho_1\right)}{\rho_0}=0 \tag{36}$$

where ω is the angular frequency defined as

$$\omega=\frac{2\pi}{T} \tag{37}$$

λ is the wavelength, e.g. the distance between two crests, and k is the wave number, with

$$k=\frac{2\pi}{\lambda} \tag{38}$$

A standing wave pattern is possible with the following wavelength

$$\lambda=\frac{2l}{n} \tag{39}$$

where l is the length of the enclosed system and n an integer number of visible nodes, representing the certain modes of standing wave patterns.

In some cases you can use the shallow water approximation with

$$\tanh\left(kh\right)=kh \quad ; \text{ for } kh\leq 0{,}5 \tag{40}$$

In the lab you will find out, when this shallow water approximation is applicable.

Exercises:

1. Derive 4 equations for the period T of standing waves as functions of n, one each for the baroclinic and barotropic modes with and without the shallow water approximation.

   Hint: To derive the periods for the barotropic modes, use $h_1=\infty$ and $\rho_1=0$ and recall $\tanh\left(\infty\right)=1$.
2. Calculate the periods for the first three baroclinic and the first two barotropic modes with the equations derived in 1.
3. State for which modes the shallow water approximation is valid.